



TESIS PM 147501

**IMPLEMENTASI METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)
DAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) UNTUK
PENENTUAN PENGEMBANGAN UNIT DAUR ULANG AIR LIMBAH
DI PLTGU GRATI PT INDONESIA POWER UP PERAK GRATI**

**MILA TARTIARINI
9114201503**

**DOSEN PEMBIMBING:
Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono MEng.Sc.**

**PROGRAM MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (MMT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

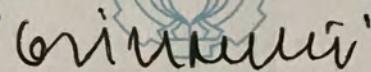
oleh :

Mila Tartiarini
NRP. 9114201503

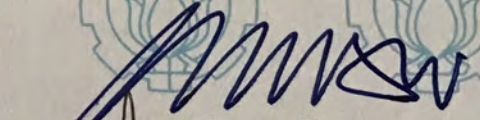
Tanggal Ujian : 06 Desember 2016
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh :

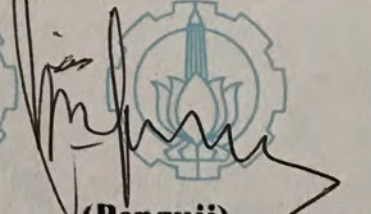
1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti C., MengSc
NIP. 19590318 198701 1 001


(Pembimbing)

2. Dr. Indung Sudarso ST.,MT.
NIDN : 0727115201


(Penguji)

3. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer M.Sc.
NIP. 19590430 198903 1 001


(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana




Prof. Ir. Diauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala hal yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis dengan judul “Implementasi Metode *Life Cycle Assesment* (LCA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk Penentuan Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah di PLTGU Grati PT Indonesia Power UP Perak Grati” . Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Manajemen Teknologi (MMT) Bidang Keahlian Magister Manajemen Teknologi Jurusan Manajemen Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

Dengan tersusunnya tesis ini, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Yth. Bpk. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Cipto Mulyono MEng, Sc. selaku dosen pembimbing, Dr Indung Sudarso dan Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer M.Sc selaku dosen penguji, yang berkenan memberi bimbingan, arahan dan masukan bagi tersusunnya penelitian yang layak untuk disajikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Yth. Direktur Program Pascasarjana Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
2. Yth. Bpk Suparlan selaku General Manager PT Indonesia Power UP Perak-Grati
3. Yang sangat dicintai Suami Anis Rifai dan kedua anak kami Rafi Ihsan Maulana dan Dava Nafeed Akbar, yang senantiasa menjadi inspirasi, memberi doa, dan dukungan selama berlangsungnya masa perkuliahan hingga memasuki masa penyelesaian perkuliahan
4. Yang sangat dibanggakan teman-teman PT Indonesia Power UP Perak Grati, Rahadi Santosa, Miftachun Nisa, Awan Yudi, Hadi Widodo, Vera Herlina dan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang senantiasa memberikan dukungan.
5. Orangtua dan keluarga besar Buang Sutrisno yang selalu memberi doa dan dorongan untuk kemajuan anaknya.

6. Semua pihak yang telah membantu kegiatan penelitian; atas perhatian, perkenan dan bantuan yang telah diberikan hingga tersusunnya penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat kelemahan yang perlu diperkuat dan kekurangan yang perlu dilengkapi.

Karena itu, dengan rendah hati penulis mengharapkan masukan, koreksi dan saran untuk memperkuat kelemahan dan melengkapi kekurangan tersebut. Akhir kata semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua

Surabaya, Desember 2016

**IMPLEMENTASI METODE LIFE CYCLE ASSESMENT(LCA)
DAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) UNTUK
PENENTUAN PENGEMBANGAN UNIT DAUR ULANG
AIR LIMBAH DI PLTGU GRATI
PT INDONESIA POWER UP PERAK-GRATI**

Nama : Mila Tartiarini
NRP : 9114201503
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono MEng, Sc

ABSTRAK

Air limbah produksi dari kegiatan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) relatif banyak dan memiliki potensi untuk dilakukan pemanfaatan. Unit daur ulang sebagai *pilot project* sudah diaplikasikan di PLTGU Grati PT Indonesia Power UP Perak Grati dengan kapasitas 4 ton/jam air service. Pengembangan unit pembangkit *combined cycle* di tahun 2018 akan meningkatkan jumlah air limbah sehingga berpotensi meningkatkan beban pencemaran di area unit.

Mempertimbangkan penggunaan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah *effluent* dari *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) berimplikasi pada sisi lingkungan dan sisi biaya maka dilakukan penilaian terhadap alternatif. Diusulkan metode *Life Cycle Assesment* (LCA) untuk mengukur dampak terhadap lingkungan dan kajian finansial untuk mengukur kriteria ekonomi. Untuk mengintegrasikan keduanya dilakukan dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Focus group discussion dilakukan oleh penentu keputusan pengusulan investasidi unit pembangkit dengan mempertimbangkan hasil pengukuran LCA dengan SimaPro 7.0 dan hasil perhitungan aspek ekonomi. Diperoleh hasil AHP dengan Expert Choice adalah unit daur ulang air limbah MMF-RO memproduksi air servis dengan single score 0,2314 Pt/Ton air servis, payback period 2,5 tahun, IRR 37.5% dan NPV sebesar Rp. 1.186.666.900,-

Kata kunci: air limbah, *Life Cycle Assesment*, *Analytical Hierarchy Process*.

IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE ASSESMENT METHOD
(LCA) AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)
TO DETERMINE THE DEVELOPMENT OF RECYCLING UNIT
OF WASTEWATER IN GRATI CCPP
PT INDONESIA POWER UP PERAK-GRATI

Name : Mila Tartiarini
NRP : 9114201503
Lecturer : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono MEng, Sc

ABSTRACT

Waste water generated by the operations of PT Indonesia Power UP Perak Grati (Combined Cycled Power Plant-CCPP) is a very large amount. It has the potential to be used again. Existing recycling unit as a pilot project has a capacity of 4 tons/hour and has reclaimed waste water into service water. Along with the development of PT Indonesia Power UP Perak Grati Plant until year 2018, a new waste recycling unit is required to handle increased waste water products.

In order to develop the waste recycling unit for waste water from Waste Water Treatment Plant (WWTP) needs to consider the implications for the environmental impact and cost aspects. A proper assessment of alternatives is required. Method of Life Cycle Assessment (LCA) is to assess the impact on the environment and also the financial assessment is to measure the economic aspect. Hierarcy Analytical Process (AHP) is to integrate and determine those impacts.

Focus group discussions conducted by the decision makers in proposing the investment plan for generating unit by considering the measurement results LCA with SimaPro 7.0 and the results of calculation of economic aspects. The results obtained with the Expert Choice AHP is a waste water recycling unit MMF-RO which producing service water with a single score of 0.2314 Pt / Ton of water service, the payback period of 2.5 years, 37.5% IRR and NPV Rp. 1,186,666,900.

Key word : waste water, *Life Cycle Assesment, Analytical Hierarcy Process.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Pembatasan Masalah	5
1.6 Asumsi Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan Proposal Thesis	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	9
2.1 <i>Life CycleAssesment</i>	9
2.1.1 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup.....	11
2.1.2 Analisa Inventory	11
2.1.3 Penilaian Dampak	11
2.2 Kajian Finansial	13
2.2.1 Kriteria Keputusan Penganggaran Modal	13
2.2.2 Biaya Produksi dan Output Volume	16
2.2.3 Proyek <i>Mutually Exclusive</i>	17
2.3 Analytical Hierarchy Process	17
2.4 Software Penelitian	20
2.4.1 SimaPro Software	20
2.4.2 Expert Choice Software	21
2.5 Interpretasi	21
2.6 Daur Ulang Air Limbah.....	22
2.6.1 Pengoperasian WWTP	22
2.6.2 Pengoperasian Unit Daur Ulang Air Limbah	24
2.7 LCA Unit Pengolahan Air Limbah dan Isue Terkait	26

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup	29
3.2 Dampak Penilaian Lingkungan	32
3.3 Integrasi Kajian Finansial dan AHP	32
3.4 Penilaian Perbandingan Berpasangan	33
3.5 Tahapan Penelitian	35
BAB 4 PEMBAHASAN	37
4.1 Deskripsi Objek Penelitian	37
4.2 Unit Daur Ulang Existing Air Limbah PLTGU Grati	37
4.3 Desain dan Kapasitas Produksi	40
4.3.1 Alternatif Multi Media Filter (MMF) Memproduksi Air Domestik ...	41
4.3.2 Alternatif MMF-RO Memproduksi Air Servis	41
4.3.3 Unit <i>Existing</i> RO Memproduksi Air Servis	42
4.4 Analisis Dampak Lingkungan	42
4.4.1 Dampak Lingkungan <i>WWTP</i> PLTGU Grati	45
4.4.2 Dampak Lingkungan MMF Memproduksi Air Domestik	50
4.4.3 Dampak Lingkungan-RO Memproduksi Air Servis	50
4.4.4 Dampak Lingkungan <i>Existing RO</i> Memproduksi Air Servis	51
4.5 Analisa Ekonomi	55
4.5.1 Analisa Biaya	55
4.5.2 Analisa Pendapatan	59
4.6 Kriteria Keputusan Penganggaran Modal	60
4.6.1 Payback Period	60
4.6.2 Net Present Value	61
4.6.3 Internal Rate of Return (IRR)	62
4.6.4 Analisa Sensitivitas	62
4.7 Pemilihan Alternatif dengan AHP	64
4.8 Analisa Sensitivitas AHP	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.1 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tahapan LCA berdasar ISO 14040 (1997).....	10
Gambar 2.2 Keuntungan dari Analytical Hierarchy Process.....	18
Gambar 2.3 Diagram Alir BWRO PLTGU Grati	25
Gambar 3.1 Ruang Lingkup Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Boundary System LCA.....	30
Gambar 3.3 Perbandingan Alternatif Pengembangan	31
Gambar 3.4 Hierarki AHP Penentuan Alternatif.....	34
Gambar 3.5. Tahapan Penelitian.....	35
Gambar 4.1 Pengolahan Air Limbah di WWTP PLTGU Grati.....	39
Gambar 4.2 Alternatif Pengembangan Unit Daur Ulang.....	43
Gambar 4.3 Penyederhanaan Kategori Dampak Eco-Indicator 99	45
Gambar 4.4 Struktur Jaringan 1 Ton Effluent WWTP.....	46
Gambar 4.5 Distribusi Dampak dari Effluent WWTP.....	47
Gambar 4.6 Struktur Jaringan MMF Unit Memproduksi Air Domestik.....	49
Gambar 4.7 Struktur Jaringan MMF-RO Unit Kapasitas 14 Ton/jam	52
Gambar 4.8 Struktur Jaringan 1 Ton Air Servis dari RO Existing.....	53
Gambar 4.9 Dampak Lingkungan Pengelompokan Kriteria.....	54
Gambar 4.10 Hierarki AHP Penentuan Alternatif Pemilihan Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah.....	66
Gambar 4.11 Grafik AHP Alternatif Pengembangan Unit Daur Ulang.....	67
Gambar 4.12 Sensitivitas Kinerja Pemilihan Unit Daur Ulang Air Limbah.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas Terpasang PLTGU Grati	1
Tabel 2.1 Skala Pembobotan Numerik Metoda AHP	19
Tabel 4.1. Kualitas Effluent WWTP	37
Tabel 4.2 Jumlah Produksi Air Limbah dan Pemanfaatannya 2014-2015.....	38
Tabel 4.3 Pemanfaatan Air Limbah dan Penggunaan Kimia 2014-2015.....	40
Tabel 4.4 Perbandingan Pengembangan Unit Daur Ulang.....	40
Tabel 4.5 Neraca Massa MMF Memproduksi Air Domestik.....	41
Tabel 4.6 Neraca Massa MMF-RO Basis dalam 1 Tahun	42
Tabel 4.7 Neraca Massa RO Existing Basis dalam 1 Tahun.....	42
Tabel 4.8 Deskripsi Dampak Lingkungan Metode Eco-Indicator 99	44
Tabel 4.9 Analisa Dampak Lingkungan dari 1 Ton Effluent WWTP	45
Tabel 4.10 Single Score Analisa Dampak Alternatif MMF-Air Domestik.....	48
Tabel 4.11 Single Score Analisa Dampak Alternatif MMF-RO-Air Servis.....	50
Tabel 4.12 Single Score Analisa Dampak Alternatif RO Existing-Air Servis.....	51
Tabel 4.13 Bahan Kimia WWTP dan MMF	56
Tabel 4.14 Perhitungan Biaya Listrik Pengembangan MMF 2 x 15 Ton/jam	56
Tabel 4.15 Perhitungan Biaya Listrik WWTP 30 Ton/jam	56
Tabel 4.16 Biaya Bahan Kimia MMF-RO Pengembangan.....	57
Tabel 4.17 Biaya Operasi RO-Existing.....	58
Tabel 4.18 Total Biaya Pengoperasian Setiap Alternatif.....	59
Tabel 4.19 Estimasi Unit Cost Pemanfaatan Air Limbah.....	59
Tabel 4.20 Perbandingan Pendapatan Setiap Alternatif Terhadap Existing.....	61
Tabel 4.21 Cost Benefit Analysis Alternatif Pengembangan Unit.....	61
Tabel 4.22 Analisa Sensitivitas Kenaikan Biaya Operasi.....	63
Tabel 4.23 Analisa Sensitivitas Penurunan Produksi.....	64
Tabel 4.24 Jabatan dan Kompetensi Peserta <i>Focus Group Discussion</i>	65
Tabel 4.25 Penilaian AHP dari Atribut dan Sub Atribut.....	67

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Payback period (PP)	14
Rumus 2.2 Net Present Value	15
Rumus 2.3 Internal rate of return (IRR).....	16
Rumus 2.4 Matriks Perbandingan Berpasangan	19
Rumus 2.5 Indeks Konsistensi.....	20

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Indonesia Power merupakan anak perusahaan PT. PLN (Persero) yang didirikan pada 3 Oktober 1995. Unit Pembangkit Perak Grati adalah salah satu Unit Pembangkitan PT. Indonesia Power yang mengelola Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Grati yang terletak di Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan yang terdiri dari 2 Blok, dimana Blok I terdiri dari 1 unit PLTGU/*Combined Cycle* dan Blok II terdiri dari 3 unit PLTG *Open Cycle* dengan bahan bakar utama gas alam.

Dalam pengembangan pembangkit untuk pemenuhan kebutuhan listrik Sistem Jawa Bali, PT Indonesia Power mendapat penugasan dari PT PLN (Persero) untuk melakukan pengembangan Blok II menjadi PLTGU/*Combined Cycle* (s.d. Desember 2015 proses *Feasibility Study*) dan Blok III PLTGU 450 MW akan dibangun oleh konsorsium Samsung-Lotte per Februari 2016 selama 26 bulan. Sampai dengan 2018 kapasitas terpasang PLTGU Grati akan seperti pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kapasitas Terpasang PLTGU Grati

Pembangkit	Kapasitas	Keterangan
BLOK I (C/C)	3 x 100,75 MW	Beroperasi sejak 1997
BLOK I ST 1.0	1 x 160,58 MW	Beroperasi sejak 1998
BLOK II (O/C)	3 x 100,75 MW	Beroperasi sejak 2002
BLOK III (O/C)	2 x 150,00 MW	Rencana operasi 2017
BLOK III ST 3.0	1 x 150,00 MW	Rencana operasi 2018

Pengoperasian PLTGU akan menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses utama *blowdown boiler* dan kegiatan pendukung berupa sumber pendingin dan sumber desalinasi (Manual WWTP, 1996). *Blowdown boiler* dilakukan untuk menjaga kualitas sistem uap dan air pada *Steam Turbin*. Limbah cair akan ditampung di *storage pond Waste Water Treatment Plant* (WWTP) untuk kemudian diproses secara *batch*. Proses-proses yang ada dalam pengolahan

limbah di WWTP adalah aerasi, koagulasi, flokulasi, penetralan dan filtrasi sehingga effluent WWTP atau air produksi olahan dari WWTP memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan oleh peraturan lingkungan hidup.

Peningkatan tekanan pada lingkungan, ekonomi dan sosial menjadi dasar perubahan pada pengelolaan limbah (Sound, 2006) yaitu :

1. Perubahan iklim, dengan adanya fakta pemanasan global, maka perlu peningkatan kesadaran pada sampah dan wasting pada produksi emisi gas rumah kaca.
2. Suplai energi – kesadaran mengurangi pemakan bahan bakar fosil dan beralih pada pemanfaatan sampah padat menjadi sumber energi baru.
3. Tanggung jawab produsen pada batasan dari pemerintah setempat untuk mencegah dan memantau volume dan produk berbahaya pada limbah dengan desain hijau (*green design*) yaitu *reuse*, *recycle* dan mengurangi pembebanan pajak.
4. *Zero waste*, dengan pendekatan inovasi terkait tanggungjawab produser (penghasil limbah), keinginan publik untuk pencegahan limbah dan mengurangi kebutuhan fasilitas pembuangan jangka panjang.

Optimalisasi konservasi air berupa kegiatan daur ulang limbah cair adalah dengan pemanfaatan semua *effluent* WWTP sebesar 100% atau *zero waste* untuk limbah cair. Menurut (Kamdi, 2013), untuk melakukan pengelolaan air limbah dan kemudian dimanfaatkan lagi bisa dilakukan di pembangkit thermal dengan menentukan parameter fisika dan kimia dalam air limbah. Baku mutu limbah cair yang dipersyaratkan di PLTGU Grati adalah berdasar pada Per Men LH No 08 Th 2009.

Pilot project pemanfaatan *effluent* WWTP sudah dimulai dengan melakukan pembangunan *Mini Reverse OsmosisPlant* yang beroperasi mulai bulan September 2013 dengan kapasitas 4 m³/jam. Pemanfaatan *effluent* WWTP baru sebesar 16,67% sehingga diperlukan evaluasi alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah sekaligus mempertimbangkan timbulan air limbah dari proyek blok II dan III.

Beberapa metode untuk pengolahan sebagai umpan boiler pembangkit listrik adalah dengan *pre-treatment filtration* dan *Acid Injection-RO* (Smadi dkk, 2010) yang sesuai dengan kebutuhan unit pembangkit yaitu :

a. *Service water*

Service water digunakan sebagai umpan di *Water Treatment Plant* (WTP) yang selanjutnya diproses menjadi *make up water* untuk kebutuhan air penambah pada *Steam Turbin*. Memiliki kualitas yang terlalu baik untuk kebutuhan air domestic, *conductivity* < 10 microS/cm.

b. Domestik dan *fire fighting (F/F) System Water*.

Adalah air yang *standby* dan digunakan baik untuk kebutuhan air domestic gedung dan kesiapan apabila terjadi kebakaran. Memiliki kualitas sama dengan air untuk kebutuhan air domestik, dengan *conductivity* < 1000 microS/cm.

Pemilihan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah ini tentu akan memberi dampak terhadap lingkungan. Yaitu berupa penambahan alat proses dan fasilitas pendukungnya yang akan meningkatkan jumlah dan jenis bahan kimia, jumlah *sludge* (lumpur) dan penggunaan listrik. Bahan kimia dan lumpur berdampak pada kualitas lingkungan, sedangkan penggunaan listrik secara tidak langsung akan mengurangi sumber daya alam dan menghasilkan emisi apabila menggunakan SDA yang tidak dapat diperbarui. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan penilaian dampak pengembangan unit daur ulang air limbah dengan menggunakan pendekatan *Life Cycle Assesment* (LCA). LCA sudah banyak digunakan dalam pemilihan unit pengolah air limbah (WWTP) baik berupa desain maupun operasional (Li, 2013). Mulai 1990 hingga 2012 sekitar 45 penelitian terkait WWTP dan LCA direview baik berupa produk, servis dan proses untuk menentukan dampak terhadap lingkungan (Corominas, 2013).

Selain dari sisi lingkungan, penelitian ini juga akan melakukan kajian finansial. Penambahan alat proses dan fasilitas pendukungnya akan menimbulkan biaya investasi awal. Dengan membandingkan dua alternative pengembangan maka nilai investasinya tentu tidak sama. Manfaat berupa keuntungan operasi unit pertahun menentukan juga apakah suatu proyek disarankan atau tidak. Atau

manfaat dan keuntungan yang diperoleh akan selalu dibandingkan terhadap biaya (penganggaran modal) yang dilakukan oleh perusahaan.

Setiap pengusulan investasi di lingkungan PT Indonesia Power harus dilengkapi Dokumen Manajemen Resiko (DMR) dan *Term of Reference (TOR)*. Dokumen tersebut diantaranya harus memiliki kajian finansial yang menghitung manfaat terhadap biaya yang dikeluarkan (Panduan RKA, 2015).

Setelah dilakukan penilaian lingkungan dengan LCA dan penilaian finansial maka untuk menentukan alternative pengembangan unit daur ulang air limbah berdasarkan konsep *Multi Criteria Decision Making (MCDM)* untuk membantu proses pengambilan keputusan yang dilakukan oleh manajemen. Pengembangan unit daur ulang dengan *Acid- RO* secara lingkungan bisa jadi efektif dan terbaik, tetapi memiliki waktu pengembalian modal yang lama dan pengoperasian yang rumit. Dengan *Analytical Hierarchy Process* akan dilakukan perbandingan penilaian pada kriteria dan subkriteria lingkungan dan finansial sehingga dapat dipilih alternatif unit pengolahan air limbah pembangkit.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah sehingga *effluent* WWTP PLTGU Grati bisa dimanfaatkan secara maksimal sebagai *service water* atau *domestic water*. Minimasi air limbah yang dibuang ke lingkungan dengan prinsip *zero waste* akan dianalisa dengan *Life Cycle Assesment*.

Permasalahan yang berkaitan dengan pengembangan unit daur ulang yang akan diteliti lebih lanjut dalam thesis ini adalah :

1. Bagaimana dampak pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati terhadap lingkungan.
2. Bagaimana dampak pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati secara finansial/ekonomi.
3. Bagaimana melakukan penentuan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisa kelayakan lingkungan dengan menggunakan LCA untuk alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah.
2. Melakukan analisa kelayakan ekonomis untuk alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah.
3. Menentukan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah di PLTGU Grati dengan AHP.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan berguna untuk:

1) Praktisi

Bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan di perusahaan pembangkit listrik khususnya pembangkit *combined cycle* dalam memutuskan dan menentukan pengembangan unit daur ulang air limbah.

2) Pengembangan keilmuan

Bahan informasi bagi penelitian lanjutan di bidang konservasi air, pengelolaan air limbah pembangkit dan kegiatan 3R limbah cair.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memperoleh langkah pemecahan yang tepat dan menjaga supaya analisa yang dilakukan tetap terarah, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Lokasi penelitian berada di PLTGU *Combined Cycle Unit*, Grati, Pasuruan, Jawa Timur.
2. Obyek penelitian adalah Pemanfaatan Air Limbah Cair dari Unit WWTP Eksisting.
3. Teknologi daur ulang air limbah yang dikaji adalah *multi media filter* dan *Reverse Osmosis* dan fasilitas lain sehingga dapat dimanfaatkan.
4. Data bukan dari hasil eksperimen tetapi dari unit daur ulang existing RO yang dihitung proporsional terhadap peningkatan jumlah air limbah.

5. Kapasitas desain alternatif dihitung dengan prinsip semua air limbah didaur ulang (*zero waste*) dan menentukan nilai investasi unit pengembangan daur ulang air limbah.

1.6. Asumsi Penelitian

Sedangkan asumsi-asumsi yang diambil dalam penelitian ini adalah diasumsikan bahwa

1. Tidak membahas analisa resiko terutama resiko keselamatan dan kesehatan kerja secara detail.
2. Analisa investasi hanya pada pengembangan unit daur ulang air limbah.

1.7 Sistematika Penulisan Proposal Tesis

Sistematika penulisan proposal tesis ini secara garis besar dibagi kedalam tiga bab, dimana setiap bab dibagi menjadi sub-sub bab berisi uraian yang mendukung isi secara sistematis dari setiap bab secara keseluruhan. Adapun sistematika proposal tesis ini adalah:

BAB I: PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan secara umum materi-materi yang akan dibahas, yaitu: latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi penelitian serta sistematika penulisan proposal tesis.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini membahas mengenai penelitian terdahulu, landasan teori yang berhubungan dengan penelitian ini, kerangka pemikiran dan hipotesis penelitian.

BAB III: METODE PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan tentang metode penelitian yang terdiri dari rancangan penelitian, batasan penelitian, identifikasi variabel, definisi operasional dan pengukuran variabel, populasi sampel, dan teknik pengambilan sampel, data dan metode pengumpulan data serta yang terakhir adalah teknik analisis data.

BAB IV:PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang deskripsi obyek penelitian, data-data yang diperoleh dalam penelitian, analisis dan hasil perhitungan yang dilakukan. Pada akhir bab ini dilakukan pembahasan terhadap hasil analisis serta keterbatasan yang ditemukan selama penelitian.

BAB V:KESIMPULAN

Pada bab ini diuraikan kesimpulan-kesimpulan terhadap keseluruhan pembahasan yang dilengkapi dengan saran-saran untuk perbaikan dalam penelitian di masa mendatang.

LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi data pendukung dan hasil perhitungan kajian finansial, yang dilengkapi dengan data-data pendukung lainnya yang digunakan dalam penelitian ini.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Kajian terhadap data sekunder dan dokumen sebelumnya sangat bermanfaat dan penting dalam membuat thesis. Bab ini akan mengkaji beberapa literatur pada definisi *life cycle analysis* (LCA), LCA terkait unit pengolahan limbah, kategori dari dampak lingkungan, SimaPro *software* dan unit daur ulang air limbah. Membahas juga mengenai metode untuk memutuskan penganggaran modal pengembangan unit daur ulang dan definisi AHP dan penggunaannya untuk menentukan pilihan alternatif.

2.1 *Life Cycle Assessment* (LCA)

Kesadaran tinggi pada pentingnya proteksi lingkungan dan kemungkinan dampak yang terkait pada produk manufaktur dan produk yang dikonsumsi menyebabkan ketertarikan dalam mengembangkan metode untuk mengurangi dampak. Salah satu teknik yang dikembangkan untuk tujuan tersebut adalah *Life Cycle Assessment* (LCA).

Definisi *Life Cycle Assessment* (LCA) secara umum diartikan suatu metode untuk mengukur dampak lingkungan yang diakibatkan produk atau aktifitas sepanjang daurhidup mulai dari pengambilan bahan baku dari “*virgin material*”, diikuti proses produksi dan penggunaan, dan berakhir pada pengelolaan sampah atau limbah (Graedel, 1998). LCA memungkinkan estimasi terhadap dampak lingkungan secara kumulatif yang dihasilkan dari seluruh tahapan pada siklus hidup suatu produk (Pesonen, 2001).

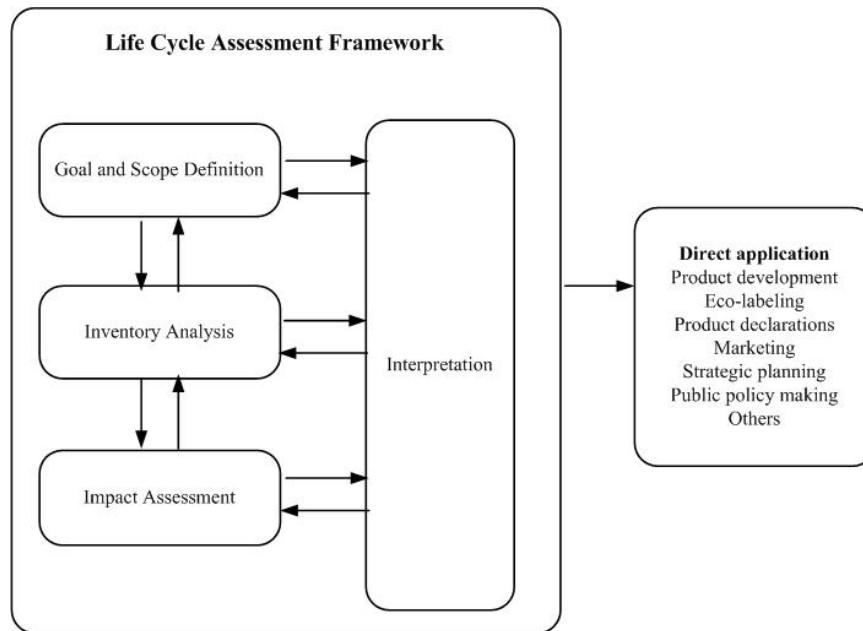
LCA adalah teknik untuk mengukur aspek lingkungan dan dampak potensial yang berhubungan dengan produk, dengan menggabungkan input dan output yang terkait dengan inventory dari system produk, mengevaluasi dampak lingkungan potensial yang terkait dengan *input* dan *output* dan menginterpretasikan hasil dari analisa inventori dan fase pengukuran dampak yang berhubungan dengan sasaran dari penelitian (ISO 14040,1977).

Berdasar pada ISO 14040, metodologi LCA terdiri dari 4 fase utama pada gambar 2.1 yaitu tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, pengukuran dampak dan interpretasi. LCA dapat diklasifikasikan menjadi 3 urutan yang berbeda :

1. *First order*: LCA yang mempertimbangkan produksi material dan transportasinya.
2. *Second order*: LCA yang mempertimbangkan semua proses pada *life cycle*, tetapi tidak termasuk modal.
3. *Third order*: LCA yang menginvestigasi semua proses termasuk modal.

Cradle-to-gate adalah pengukuran secara parsial dari *life cycle* suatu produk dari “*resource extraction*” (*cradle*) ke *factory gate*. Fase *disposal* dari produk tidak dianalisa dalam penelitian ini.

Salah satu penggunaan pendekatan *cradle-to-gate* adalah penggabungan *life cycle inventory* (LCI) menggunakan *cradle to gate*. Memungkinkan LCA untuk mengumpulkan semua *leading impact* dari sumber yang dibutuhkan oleh fasilitas. Penambahan lain adalah keterlibatan transportasi ke *plant* dan proses *manufacture* untuk mempermudah memproduksi nilai *cradle to gate* pada produk mereka (ISO 14042).



Gambar 2.1 Tahapan LCA berdasar ISO 14040 (1997)

Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi LCA untuk produk *effluent* dari unit *recycle waste water* (unit daur ulang air limbah) sebagai upaya untuk peningkatan efisiensi penggunaan air pembangkit dan penurunan beban pencemaran limbah cair.

2.1.1 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

Definisi tujuan dan ruang lingkup adalah menunjukkan hubungan sistem produk dengan unit fungsi dan sistem pembatas. Unit fungsi adalah kuantitas material yang menyebabkan barang atau sumber daya produk untuk dianalisa dan dibandingkan dimana system pembatas adalah batasan dari *life cycle* produk. (Rebitzer, 2004).

Dampak lingkungan yang diteliti mulai dari pola operasi pengolah air limbah di WWTP yang berubah dari desain sebelumnya, penambahan unit daur ulang air limbah, penambahan tangki penyimpanan dan modifikasi piping fasilitas air domestic serta pemanfaatan effluentnya terhadap unit pengolahan air pembangkit eksisting.

2.1.2 Analisa Inventory

Pada tahap ini akan dimodelkan seluruh “*boundary*” sistem kompleks objek produk dijadikan objek dari produksi produk, pemanfaatan produk dan pembuangan limbah. Tahapan akan menghasilkan *flow sheet* atau *process tree* dengan semua proses yang relevan. Untuk setiap proses, semua *inflow* dan *outflow* yang relevan dikumpulkan. Tahap ini menggunakan semua sumber data yang diperoleh dari industri juga mengacu pada data base *Eco-Invetory* yang diberikan dalam *Software Sima Pro 7.0*.

2.1.3 Penilaian Dampak

Pada tahap ini dilakukan penilaian dampak dari aktivitas, penggunaan material input, proses yang diidentifikasi di tahapan sebelumnya (Laine et al., 2001). Kemudian dilakukan pengklasifikasian untuk mengidentifikasi kategori-kategori dampak yang penting dan relevan. Klasifikasi kategori dampak berdasarkan kriteria *resource depletion* (penipisan sumberdaya abiotik dan biotik), *pollution*

(*global warming, ozone depletion, human toxicity, ecotoxicity, photochemical oxidant formation, acidification, eutrophication*) dan degradasi ekosistem tanah dan *landscape (land use)*. Tipe masalah lingkungan bisa disusun berdasarkan skala geografisnya, dari global (*climate change*) sampai lokal (*noise, occupational health*). Berdasarkan data base Sima Pro 7.0, kebanyakan kategori dampak lingkungan berhubungan dengan level regional dan global, tidak pada level lokal. Setelah itu melakukan normalisasi nilai dengan membagi kategori dampak (*"impact category"*) dibagi dengan nilai *reference* sehingga semua hasil *kategori dampak* sudah memakai unit yang sama dan bisa saling dibandingkan. Tahap berikutnya adalah melakukan penilaian total dengan mempertimbangkan *weighting* yang dipilih, mengalikan nilai kategori dampak (*impact category*) dengan faktor pembobotannya. Langkah *Single Score* dipergunakan untuk mengklasifikasikan semua nilai *kategori dampak* berdasarkan proses atau *sub assembly* pembentuk produknya.

Pemanasan global adalah suatu dampak yang mempengaruhi lingkungan dalam skala global (Wenzel, 1997). Hal ini menyebabkan pengaruh serius pada manusia dan lingkungan termasuk peningkatan temperatur, perubahan cuaca kenaikan level air laut global, pola udara ekstrim perkembangan penyakit tropis, ekosistem yang tertekan dan dampak ekonomi yang dramatis. Disamping itu akan ada dampak pada hujan asam, penurunan sumber energi, *eutrophication* dan limbah padat dan yang lainnya.

Pengasaman adalah dampak yang mempengaruhi lingkungan dalam skala regional (Wenzel, 1997). Nitrogen oxides (NO_x) dan sulfur (SO₂) yang dipancarkan dari natural dan sumber *anthropogenic* menyebabkan oksidasi pada aktivitas manusia. Emisi SO₂ mencapai 90% dipancarkan oleh sumber buatan manusia, disisi lain sekitar separuh dari NO_x pada permukaan tanah di area rural dan di atmosfer, berasal dari sumber buatan manusia seperti kendaraan dan emisi statis memberikan kontribusi sekitar masing-masing 50% (Pawlowski, 1997). Oksidasi dapat merusak ekosistem dan kesehatan manusia. Menyebabkan penyakit tanaman dan juga korosi.

Energi adalah komponen utama dari masyarakat industri modern. Ada 2 bentuk sumber energi alami. Bentuk pertama adalah sumber daya yang dapat diperbarui yaitu energi yang berasal dari angin, tumbuhan, radiasi panas, arus, gelombang, aliran sungai atau bentuk lain dari aliran panas secara terus menerus. Yang kedua, bentuk lain adalah energi yang tidak dapat diperbarui yang tidak dapat diregenerasi, diproduksi atau berkembang pada periode terbatas. Jumlah energi yang tidak dapat diperbarui terbatas dimana total energi dari sumber yang dapat diperbarui dapat diproduksi setiap saat (Fay and Golomb, 2002). Penipisan sumber energi adalah suatu dampak yang menyebabkan efek rumah kaca karena kelimpahan karbon dioksida yang diproduksi dari pembakaran bahan bakar.

Berdasar pendapat Smith (2009), Eutrofikasi (kelebihan nutrisi) adalah sebuah isu lingkungan aliran, sungai, danau, sumur, tanah basah yang luas. Nutrisi makanan seperti Nitrogen, Phospor dapat meningkat karena aktivitas manusia. Nutrisi dari luar yang diperoleh dari aktivitas langsung dan tidak langsung dari manusia seperti pupuk dapat menyumbang terjadi eutrofikasi. Eutrofikasi dapat memberi dampak pada kerusakan air dan kerusakan ekosistem lainnya.

Limbah padat dapat diartikan sebagai sampah atau lumpur (*sludge*) dari unit pengolahan air limbah dan material lain yang terbuang dan material lainnya yang berhubungan dengan polusi tanah yang berasal dari pertanian, industri atau aktivitas kelompok lainnya. Yang memberikan dampak pada lingkungan, kesehatan manusia, hewan dan kehidupan hewan dan air.

2.2 Kajian Finansial

2.2.1 Kriteria Keputusan Penganggaran Modal

Keputusan penganggaran modal melibatkan perencanaan pengeluaran untuk suatu project dengan umur minimal 1 tahun atau lebih lama. Perhitungan yang digunakan adalah ‘*time value of money*’ untuk menyamakan arus kas dimasa datang terhadap masa sekarang, dengan menggunakan biaya modal sebagai dasar “*discount rate*” (Block, 2002). Arus kas atau pendapatan dari hasil investasi suatu unit merupakan bagian dari manfaat (benefit) yang bersifat *tangible*. Biaya modal adalah biaya yang dikeluarkan untuk investasi unit atau *plant*.

Dalam melakukan keputusan anggaran modal atau keputusan investasi dalam jangka panjang ada tiga metode yang digunakan yaitu metode *Payback*, *Internal rate of return* dan *Net present value* (Block, 2002) dengan penjelasan sebagai berikut :

2.2.1.1 Periode Pengembalian Modal (*Payback Period*)

Periode pengembalian adalah waktu yang diperlukan (biasanya dalam ukuran tahun) untuk mengembalikan biaya anggaran modal proyek (*capital-budgeting*) untuk mengukur seberapa cepat suatu proyek mengembalikan investasi berhubungan dengan arus kas bebas (*free cash flows*), yang mengukur waktu manfaat daripada pendapatan akuntansi

Dalam kasus evaluasi proyek tunggal, diadopsi jika membayar kembali bagi proyek dalam jangka waktu yang ditentukan oleh manajemen dan jika proyek tidak dapat membayar kembali dalam jangka waktu yang ditentukan maka manajemen akan ditolak

Periode pengembalian modal (*payback period*) di formulasikan pada rumus 2.1, dimana *payback period* dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Hitung laba bersih tahunan (pendapatan) sebelum depresiasi dan setelah pajak, ini disebut arus kas tahunan
- 2) Bagi pengeluaran awal (biaya) dari proyek dengan arus kas masuk tahunan, di mana proyek tersebut menghasilkan arus kas tahunan yang konstan

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Cash outlay of project}}{\text{Annual cash inflow}} \quad (2.1)$$

- 3) Ketika arus kas tahunan yang tidak setara waktu pengembalian modal dapat ditemukan dengan menjumlahkan arus kas masuk sampai total menjadi sama dengan pengeluaran kas awal proyek

Pendapatan dari metode waktu pengembalian modal(*payback period*):

- 1) Sederhana untuk memahami dan mudah untuk menghitung

- 2) Menghemat biaya, membutuhkan lebih sedikit waktu dan tenaga kerja dibandingkan dengan metode lain penganggaran modal

Kerugian metode periode pengembalian modal (*payback period*):

- 1) Tidak memperhitungkan arus kas yang diperoleh setelah waktu pengembalian modal maka profitabilitas benar proyek tidak dapat dinilai
- 2) Metode ini mengabaikan nilai waktu dari uang (*time value of money*) dan tidak mempertimbangkan besarnya dan waktu arus kas

2.2.1.2 Nilai Bersih Saat Ini (Net Present Value/NPV)

Nilai bersih saat ini (NPV) dari proposal investasi adalah sama dengan nilai saat sekarang dari arus kas bebas (free cash flow/FCF) dikurangi pengeluaran awal investasi, sesuai diformulasikan pada rumus 2.2.

$$NVP = \sum_{t=1}^n \frac{FCF_t}{(1+k)^t} - IO \quad (2.2)$$

Dimana:

FCF_t : Annual free cash flow/FCF pada periode t

k : Tingkat discount rate yang sesuai, itu adalah tingkat pengembalian atau biaya modal

IO : Pengeluaran kas awal

n : Proyeksi periode yang diharapkan

Nilai Net present value/NPV dari suatu proyek akan mengukur nilai bersih dari suatu proposal investasi pada periode saat sekarang.

Kriteria diterima atau ditolak dinyatakan sebagai berikut:

NPV ≥ 0.0 ; diterima

NPV < 0.0 ; ditolak

2.2.1.3 Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return/IRR*)

Tingkat pengembalian internal (IRR) adalah merupakan keputusan penganggaran modal yang menggambarkan tingkat pengembalian suatu proyek peroleh, secara

matematis, itu adalah *discount rate* yang dapat menyamakan nilai sekarang dari arus masuk dengan nilai sekarang dari arus keluar. Secara matematis tingkat pengembalian internal (IRR) didefinisikan sebagai nilai IRR yang diformulasikan dalam rumus 2.3.

$$IO = \sum_{t=1}^n \frac{FCF_t}{(1+IRR)^t} \quad (2.3)$$

Dimana:

FCF_t : Annual free cash flow pada periode t

IO : Pengeluaran kas awal

n : Proyeksi periode yang diharapkan

IRR : Tingkat pengembalian internal suatu proyek (*Internal rate of return*)

Kriteria diterima atau ditolak dinyatakan sebagai berikut:

$IRR > IRR$ yang diharapkan; diterima

$IRR < IRR$ yang diharapkan; ditolak

2.2.2. Biaya Produksi dan Output Volume

Penentuan bahwa alternative yang dipilih sudah tepat salah satu yang dibandingkan adalah biaya produksi terhadap output volume. Biaya yang terjadi dalam produksi sebagai hubungan antara biaya dari penyediaan fasilitas dan volume produksi yang dihasilkan. Didalam kapasitas dari ketersediaan fasilitas, input tenaga kerja dan material yang dibutuhkan untuk memproduksi sejumlah tertentu variasi unit produk sesuai dengan volume output. Hubungan antara input dan output disebut dengan fungsi produksi (*production function*) berdasarkan teknologi dari produksi yang digunakan. Pada saat fasilitas untuk produksi sudah terpasang jenis biaya tersebut disebut biaya tetap (*fixed cost*) sedangkan biaya yang terkait secara langsung maupun tidak langsung disebut variable biaya (*variable cost*).

Dalam pengolahan air di unit pembangkit sebagai air penambah di unit PLTGU Grati adalah harga produksi air desalination plant Rp. 47.331,12/m³ dan produksi Reverse Osmosis (RO) Rp. 5.143,43/m³ (Tartiarini, 2013).

2.2.3 Proyek *Mutually Exclusive*

Pengajuan proposal dapat diajukan berdasarkan teknologi, ekonomi dan/ atau perspektif hukum. Dari sisi ekonomi biasanya dibagi 2 yaitu :

- a. *Mutually exclusive* : hanya satu proposal yang bisa dipilih
- b. *Independent* : lebih dari proposal yang dapat dipilih

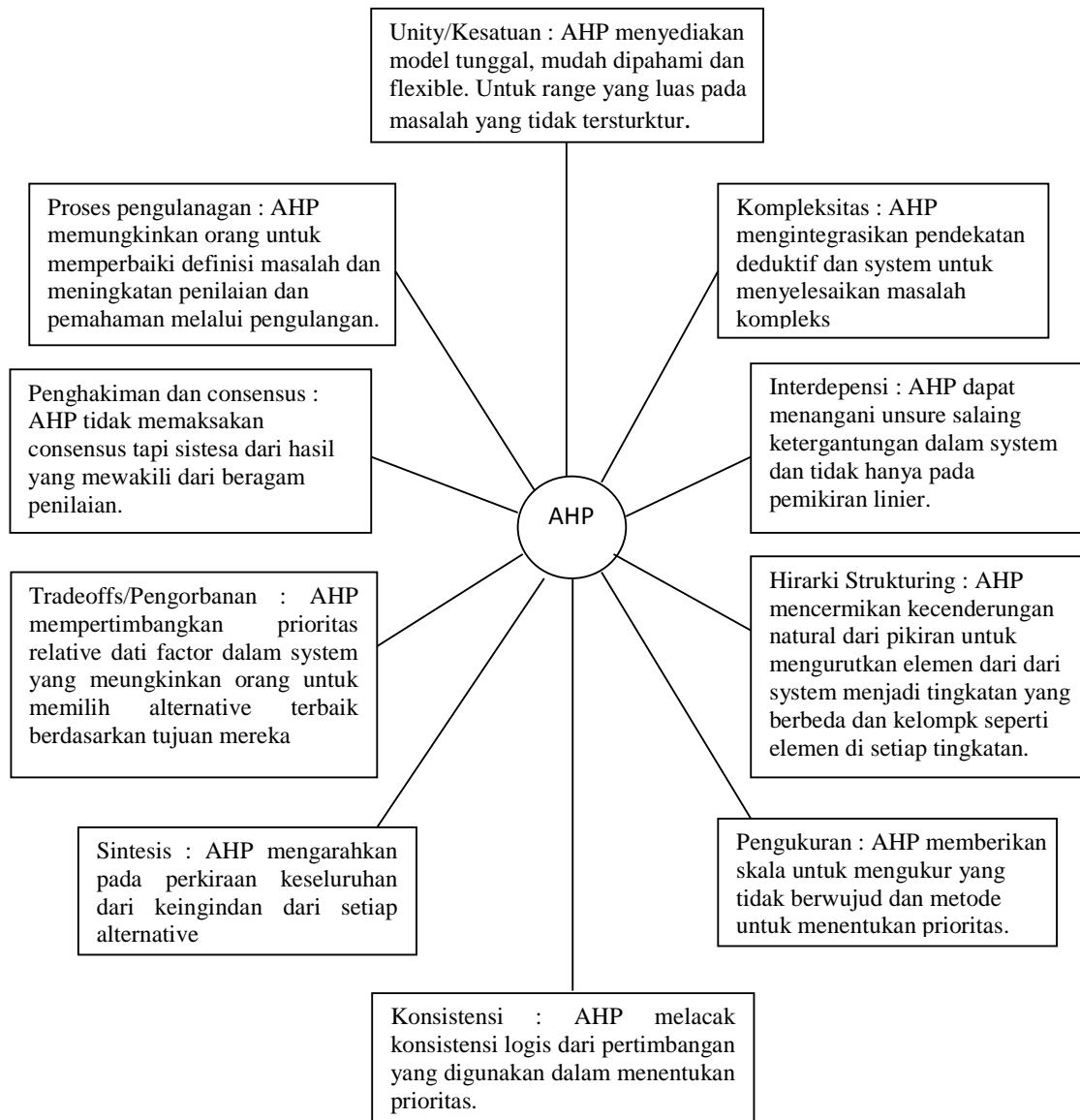
Pemilihan alternatif proyek dengan *mutually exclusive* dan *independent* memiliki cara yang berbeda. Pada *mutually exclusive* saat harus memilih alat yang terbaik dari beberapa model yang tersedia, hanya satu yang harus dipilih dan lainnya tidak. Dan apabila secara ekonomi tidak ada yang memenuhi maka tidak dilakukan pemilihan (Blank, 2012).

2.3 *Analytical Hierarchy Process*

Pendekatan AHP dikembangkan dari teori pengukuran kriteria keputusan yang kuantitatif/non-kuantitatif (*tangible/intangible*) dalam model keputusan yang mengandung solusi yang saling konfliktual. Prinsip dari pendekatan ini berusaha mengakomodasi aspek-aspek kognitif, pengalaman dan pengetahuan subjektif dari pengambil keputusan sebagai data dasar yang menentukan dalam proses pengambilan keputusan. (Ciptomulyono, 1998).

Langkah penggunaan metoda AHP dimulai dengan melakukan dekomposisi problem keputusan yang kompleks dan kemudian menggolongkan pokok permasalahannya menjadi suatu elemen-elemen dalam satu hierarkhi tertentu. Pada tingkat hirarkhi yang sama, elemen-elemen matriks yang berpasangan diperbandingkan (*pairwise comparision*) dengan memasukkan pertimbangan faktor kualitatif dan kuantitatif (Saaty, 1988). Keuntungan dari *Analytical Hierarchy Process* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Proses evaluasi perbandingan antar elemen dan kriteria mendasarkan pertimbangan subjektif pengambil keputusan atau evaluator. Proses ini dapat



Gambar 2.2 Keuntungan dari *Analytical Hierarchy Process*

didokumentasikan dan dapat diuji kembali konsistensi penilaiannya. Skala pembobotan ini mencerminkan tingkat preferensi/kepentingan suatu perbandingan elemen keputusan dalam kontribusinya terhadap pencapaian suatu goal pada hierarki yang lebih atas.

Pada Tabel 2.1 menunjukkan skala numerik yang dipergunakan untuk merepresentasikan pembobotan numerik “*judgment*” dari pengambil keputusan saat melakukan evaluasi.

Tabel 2.1 Skala Pembobotan Numerik Metoda AHP dari Judgement Keputusan

Skala Numerik	Skala Kualitatif dan Definisi
1	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sama penting dibandingkan elemen matriks yang lain
3	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sedikit lebih penting dibandingkan elemen matriks yang lain
5	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai cukup penting dibandingkan elemen matriks yang lain
7	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sangat penting dibanding elemen matriks yang lain.
9	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai mutlak (sangat penting sekali) dibanding elemen matriks yang lain.

Ambil nilai $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ sebagai perbandingan faktor elemen baris matriks

i terhadap faktor elemen kolom j, untuk $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$. Suatu matriks perbandingan **A** dapat disusun dari elemen elemen matriks berpasangan dengan memanfaatkan bobot skala numerik diatas:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Misal kedua elemen matriks berpasangan yang diperbandingkan memiliki bobot yang sama nilai $a_{ij} = 1$, untuk matriks bersifat resiprok akan terdapat $n(n-1)/2$ elemen matriks perbandingan **A** berpasangan yang berukuran $n \times n$ seperti pada persamaan 2.4.

Hubungan diatas memungkinkan mendapatkan nilai pembobotan **W** dari matriks **A** diatas, dengan menyelesaikan persamaan : $(A - n I) \mathbf{W} = 0$; $\sum W_j = 1$. Dimana nilai **I** dan **0** masing-masing merupakan unit matriks identitas dan matriks nol dan

\mathbf{W} adalah vektor normal dari pembobotan w_1, w_2, \dots, w_n . Solusi bukan nol jika dan hanya jika $n =$ nilai eigen matriks A .

Bila λ sebagai nilai eigen vector dari matriks A , persamaan $A \mathbf{W} = \lambda \mathbf{W}$ memiliki sifat yang unik, setiap kolom matriks merupakan suatu perkalian konstanta dari kolom pertama. Sehingga terdapat n eigen vektor yang bernilai nol kecuali satu. Satu eigen value yang tidak bernilai nol disebut sebagai λ_{\max} , maka diperoleh $A \mathbf{W} = \lambda_{\max} \mathbf{W}$.

Elemen matriks a_{ij} merupakan nilai evaluasi yang bersifat subjektif yang tidak pernah memiliki sifat konsisten sempurna, sebagai sifat dan situasi keputusan yang manusiawi. Sifat resiprokalitas dari matriks perbandingan berpasangan mempersyaratkan hubungan $a_{ik} = a_{ij} * a_{jk}$, tidak terpenuhi. (Saaty, 1993). Untuk jawaban yang semakin konsisten, nilai λ_{\max} cenderung mendekati n . Saaty telah mengembangkan suatu indeks konsistensi untuk mengukur konsistensi judgment saat melakukan perbandingan dengan merumuskan indeks konsistensi (CI) sebagaimana persamaan 2.5.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)} \quad (2.5)$$

Indeks $CI = 0$ menunjukkan perbandingan berpasangan dari proses pembobotan yang konsisten sempurna. Dengan melakukan simulasi bilangan random, Saaty (1993) menghasilkan indeks CI untuk respons yang acak CR (Consistency Ratio Indeks) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara CI untuk suatu matriks evaluasi berpasangan dengan CI dari respons yang acak dipergunakan untuk menguji konsistensi jawab perbandingan berpasangan tersebut. Saaty (1980) merekomendasikan CR dibawah 10 % (0,1) untuk menunjukkan bahwa "value judgement" saat melakukan perbandingan berpasangan yang diberikan dapat diterima konsistensinya, kalau sebaliknya memerlukan revisi atau peninjauan kembali.

2.4. Software Penelitian

2.4.1 SimaPro Software

Ada banyak alat komputasi untuk mengukur dampak lingkungan didalam *Life Cycle Assesment* seperti SimaPro, Umberto, GaBi, TEAM, POLCAGE dan GEMIS. Metologi ISO 14040 menjadi dasar dari *software*, kecuali POLCAGE dan GEMIS yang didasarkan pada database umum (Pieragostini et al, 2012). Berdasar Goedkoop dan Oele (2008) SimaPro *Software* paling banyak digunakan untuk LCA. Memiliki *database* internasional LCI yang luas dengan banyak metode untuk LCIA seperti EDIP 1997 dan 2003, CML 2001, Eco indicator 99, IPCC 2007 dan lainnya. Semua database harmonis berdasarkan dengan nomenklatur, struktur dan sangat cocok pada SimaPro dengan semua metode LCIA.

2.4.2 Expert Choice Software

Untuk membantu proses pengambilan keputusan menggunakan AHP sudah dikembangkan *software* Expert Choice dari versi 1.0 sampai dengan 8.0 yang berbasis DOS sehingga tersedia Expert Choice Pro for Windows dengan desain system oleh Ernest H. Forman, DSc.

Software Expert Choice dapat membantu meningkatkan kemampuan pengambilan keputusan (Decision Maker – DM) dalam mengambil keputusan yang efektif pada persoalan yang kompleks, karena AHP dengan Expert Choice nya memungkinkan mempertimbangkan sekaligus factor tangible maupun intangible, menyusun pemikiran, pendapat dan intuisi dalam sebuah struktur hierarki yang logis.

2.5. Interpretasi

Pada tahap terakhir ini dikaitkan dengan objektif dan ruang lingkup yang didefinisikan pada tahap awal. Dalam hal ini LCA diinginkan dipergunakan untuk membantu pengambil keputusan untuk memilih produk atau proses yang menghasilkan dampak lingkungan yang minimal sepanjang daur hidup. Untuk itu diperlukan pembentukan alternatif strategi perbaikan yang bisa meningkatkan kinerja lingkungannya.

Karena kriteria lingkungan tidak mencukupi sebagai sebagai satu-satunya pertimbangan dalam pengambilan keputusan, pendekatan finansial dilakukan

analisa keputusan penganggaran modal berupa menghitung nilai *payback period*, *net present value* dan *interest rate of return* dari alternatif unit *recycle* air limbah.

Penentuan bobot kriteria lingkungan dan finansial dan sub kriteria berdasarkan hasil nilai *eigen vector*. Semakin besar nilai *eigen vector* maka akan semakin tinggi tingkat prioritas kriteria-kriteria pengambilan keputusan. Responden yang akan dilibatkan adalah Tim Efisiensi Air Proper dan Perwakilan Manajemen.

2.6. Unit Daur Ulang Air Limbah

Setiap pabrik atau pembangkit thermal memiliki unit pengolahan air limbah (IPAL) untuk mengolah limbah cair dari kegiatan produksinya. Menurut (Kamdi, 2013), untuk melakukan pengelolaan air limbah dan kemudian dimanfaatkan lagi bisa dilakukan di pembangkit thermal dengan menentukan parameter fisika dan kimia dalam air limbah.

Beberapa metode yaitu (Smadi, 2010) untuk mengolah air penambah pembangkit:

a. Pre-treatment Filtration

Terdiri dari sand filter, activated carbon, microfiltration. Tidak merubah parameter kimia, tetapi dapat menurunkan turbidity atau kekeruhan dari 0,5 NTU menjadi 0,02 NTU.

b. Acid Injection dan Reverse Osmosis (RO)

Memperbaiki kualitas air limbah pada parameter pH, conductivity, TDS, Turbidity, SiO₂, Total Hardness, Alkalinity, T-Fe dan Cl⁻.

Untuk memberikan air umpan yang dapat diproses di unit daur ulang air limbah atau *Recycled Water Treatment Plant* (RWTP) maka WWTP harus beroperasi secara maksimal.

2.6.1 Pengoperasian Waste Water Treatment Plant

a. Waste Water Storage Pond

Limbah cair ditampung pada *waste water storage pond* dan dilakukan proses pengadukan dengan *atomizing* udara (Blower) untuk memperoleh kualitas air limbah yang homogen serta memperbaiki *Chemical Oxygen Demand* (COD). Selanjutnya air limbah dipompa ke Unit *Netralizing Pit*

b. *Unit Netralizing Pit*

Di unit ini air limbah kembali di agitasi untuk menghomogenkan air limbah yang masuk. Dari pit ini, air limbah dipompakan ke *pH control and oxydation pit*.

c. *PH Control and Oxidation Pit*

Disini air limbah akan diatur pH nya pada rentang 6 - 9 dengan menginjeksikan HCl 10% atau NaOH 10%. Injeksi *coagulant* dan *coagulant* dilakukan di unit ini dan kemudian air limbah akan dialirkan ke *coagulation & sedimentatioon tank*.

d. *Coagulant & Sedimentation Tank*

Air limbah dari *pH control and sedimentation tank* akan masuk dari bagian tengah bak, kemudian air limbah akan diaduk dengan scraper dengan putaran yang sangat rendah sehingga lumpur yang telah terbentuk akan turun dan mengendap di bagian bawah bak sedangkan air limbah yang sudah jernih akan *over flow* ke pit selanjutnya (*clear water pit*). Lumpur yang mengendap di bawah bak akan dipompakan ke *sludge enrichment tank* secara berkala.

e. *Sludge Enrichment Tank*

Lumpur yang mengendap di *Coagulation & Sedimentation tank* dipompakan ke *Sludge Enrichment Tank*. Lumpur pekat akan terendapkan di dasar bak, sedangkan air limbah akan *over flow* ke unit *netralizing pit*. Jika lumpur telah melebihi volume tampung, maka lumpur tersebut dipompakan ke *Sludge Storage Pond*.

f. *Sludge Storage Pond*

Lumpur hasil kiriman dari *Sludge Enrichment Tank* disimpan ditempat ini. Termasuk dalam limbah B3 yang harus dikelola sebagai limbah B3 sesuai PP No. 18 Tahun 1999.

g. *Clear Water Pit*

Menampung air limbah yang berasal dari *coagulation & Sedimentation Tank*, air limbah ini masih mengandung padatan tersuspensi (SS), untuk menghilangkan SS, air tersebut dipompa ke *Sand Filter*.

h. Sand Filter

Alat ini berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa SS dari air limbah yang berasal dari *Clear Water Pit*, alat ini berisi pasir yang berfungsi sebagai *filter* (Saringan), setelah melewati saringan pasir ini air limbah tersebut telah menjadi air yang jernih, dan air jernih tersebut selanjutnya di pompa menuju *netralizing pit*. Jika telah jenuh, saringan pasir harus di *backwash*.

i. Netralizing Pit

Alat ini berfungsi untuk mengontrol PH air jernih sebelum dibuang ke Laut dengan injeksi HCl 10% atau NaOH 10% sesuai kebutuhan. Apabila PH telah memenuhi syarat maka secara otomatis pompa akan bekerja dan membuang air jernih tersebut ke *Purified Water Pit*.

j. Purified Water Pit

Pit ini adalah penampung sementara air jernih sebelum dibuang ke laut atau dimanfaatkan sebagai umpan RWTP. Bila pH air limbah tidak sesuai baku mutu maka secara otomatis akan dipompa kembali ke Waste Water Storage Ponds untuk diolah kembali.

2.6.2 Pengoperasian Unit Daur Ulang Air Limbah

Terdiri dari 2 sistem yaitu pretreatment system dan Reverse Osmosis seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

A. Pretreatment System

Terdiri dari Multi Media Filter (MMF) dan *Chemical Treatment*.

a. Multi Media Filter

Berisi gravel dan karbon aktif yang berfungsi untuk menyaring suspended solid dari air umpan sebelum masuk RO. Secara periodik dilakukan *backwash* untuk menghilangkan kotoran yang tersaring.

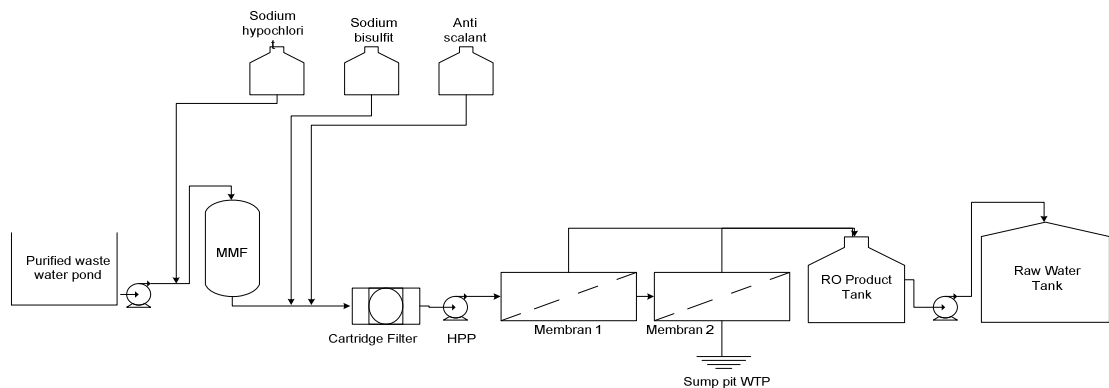
b. Injeksi Bahan Kimia

- Sodium Hypochlorite, berfungsi untuk membunuh mikroorganisme dan melindungi membrane RO dari fouling, serta mengoksidasi besi terlarut untuk melindungi membrane RO dari fouling besi.

- Sodium bisulphite, berfungsi sebagai chlorine scavenger yang akan menghilangkan oksidan – oksidan dalam air, sehingga dapat melindungi membrane RO.
- Anti scale, berfungsi untuk mencegah kristalisasi garam pada concentrate RO dan mencegah scaling pada membrane RO.

B. Reverse Osmosis (RO)

Reverse Osmosis adalah suatu system proses *water treatment* yang mengubah air brackish (air sungai, air tanah) menjadi air tawar dengan menggunakan membrane semipermeable sehingga dapat untuk memisahkan padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Air yang telah dimunkikan disebut dengan *permeate*, sedangkan garam atau larutan pekat yang dipisahkan disebut dengan *concentrate* atau *rejection*. Hasil pengukuran RO dapat dinyatakan sebagai % *Recovery* dan % *Rejection*.



Gambar 2.3. Diagram Alir BWRO PLTGU Grati

Beberapa peralatan pada BWRO System adalah :

a. *Pre Filter*

Berupa *cartridge filter* berukuran 5 micron, menyaring padatan tersuspensi yang masih terlewat dari MMF. Batasan masuk ke RO adalah < 1 NTU.

b. *High Pressure Pump*

Berfungsi untuk menekan air umpan masuk RO melewati membrane semipermeable.

c. RO Cleaning Unit

Berfungsi sebagai unit yang digunakan untuk preservasi saat RO tidak beroperasi dan chemical cleaning RO apabila kinerja RO mengalami penurunan.

2.7 LCA Unit Pengolahan Air Limbah dan Isue terkait

LCA adalah metode yang banyak digunakan dalam menilai dampak suatu alternative atau scenario terhadap lingkungan. Mulai 1990 hingga 2012 sekitar 45 paper terkait WWTP dan LCA direview baik berupa produk, service dan proses untuk menentukan dampak terhadap lingkungan oleh Corominas. Berikut beberapa penentuan alternative pengolahan air limbah yang menggunakan LCA dan merupakan dasar teori dari penelitian ini.

LCA digunakan untuk membandingkan pada 2 jenis pengolahan air limbah yaitu *constructed wetland* dengan *slow rate infiltration* dan *activated sludge process*. Dampak terhadap lingkungan pada sistem penghematan energi terutama pada indikator pemanasan global (Machado, 2007). Guareca membandingkan dua macam WWTP teknologi lumpur aktif dengan skala yang berbeda yaitu 12 l/detik dengan 1437 l/detik. Konsumsi energi, bahan baku, emisi ke udara, limbah padat dan air keluar diukur pada setiap tahapan daur hidup yaitu pembuatan peralatan dan transportasi, pembangunan dan pengoperasian unit.

Penilaian dampak lingkungan adanya *solid waste management* di Metro Vancouver menggunakan pendekatan LCA dengan 2 skenario yaitu mengelola *municipal* (MSW) dan konstruksinya dan *demolition* limbah padat. (Sound, 2009). LCA digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari fungsi produksi, penggunaan dan pengeluaran produk dan material ke masyarakat sekitar. 3 kategori utama dampak adalah :

1. Perubahan iklim (Gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, NO₂ dan CFC)
2. Kesehatan Manusia (polusi yang menyebabkan kanker, gangguan pernafasan dan keracunan seperti partikel, NO_x, SO_x, merkuri, timbal dan benzene) dan,

3. Keracunan pada Ekosistem (polusi yang membahayakan pada kehidupan liar dan tempat hidup liar seperti DDT, timbal, merkuri, Seng dan Vinyl Chlorida).

LCA digunakan untuk nilai dampak potensial terhadap lingkungan yang melingkupi sepanjang hidup suatu produk, mulai dari pengadaan bahan, produksi, penggunaan dan pembuangan. Prinsip dan kebutuhan LCA didefinisikan dalam standard ISO 14001 yang terdiri dari 4 aktifitas yaitu Tujuan dan ruang lingkup (ISO 14040), Analisa inventori (ISO 14044), dampak penilaian ((ISO 14044), and interpretation (ISO 14044).

IPAL selain menjaga lingkungan, juga memiliki dampak pada lingkungan berupa konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, penggunaan bahan kimia dan timbulan material berbahaya (Buyukkamaci)

Untuk melakukan efisiensi air yang banyak dilakukan adalah pemanfaatan kembali (*reuse*) yang membutuhkan kualitas air yang baik. Proses tersebut membutuhkan teknologi pengolahan yang akan mengkonsumsi energi besar dan untuk menilai dan membandingkannya digunakan LCA.

Untuk menjaga keberlanjutan ekologi, tujuan dari system WWT membutuhkan lebih dari menjaga kesehatan manusia dan air permukaan tetapi juga meminimalkan kehilangan energi, mengurangi pemakaian energi dan air, mengurangi pembentukan limbah dan dapat mendaur ulang nutrisi. Terdapat perubahan paradigma dari limbah menjadi *recovery* sumber daya dan pemanfaatan kembali air yang secara tepat ditujukan dengan menggunakan LCA pada tahap penelitian teknologi baru atau pada skala maksimal yang dibawa ke sisi praktis (Corominas et.al, 2013).

Muñoz et al. [15] menggunakan LCA untuk membandingkan teknologi dengan menggunakan energi matahari untuk proses oksidasi yaitu *heterogeneous semiconductor photo catalysis and homogeneous photo-Fenton*, dan dilanjutkan pengolahan biologi. Dengan dampak lingkungan menggunakan LCA adalah pemanasan global, penipisan ozon, keracunan manusia, keracunan air, pembentukan *fotocemical ozone*, pengasaman, *eutrophication*, konsumsi energi

dan penggunaan lahan. Dalam LCA mengukur dampak pemanasan global, penipisan ozon, keracunan pada manusia dan air.

Penelitian lain di China dengan LCA SimaPro 7.0 meneliti pada fase Konstruksi, Operasi dan Pemeliharaan. *Landfill sludge* dan pengangkutan bahan kimia ke WWTP menjadi perhatian. Amores et al menggunakan metodologi LCA di Taragona, Spain dimana membuat sistem suplai air dengan membandingkan 3 skenario yaitu 1). Kondisi saat ini, 2). Penggunaan air reklamasi dan unit desalinasi, 3). Air reklamasi untuk suplai air saat kemarau.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

3.1.1 Definisi Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah di PLTGU Grati, Pasuruan. Yang merupakan penelitian lanjutan dari eksisting unit mini RO dengan memanfaatkan air limbah dari WWTP. Dengan melanjutkan kajian pemanfaatan air limbah terdapat pembatasan teknologi yang digunakan sehingga penelitian tidak melebar pada pemilihan alternatif pengolahan air yang sangat banyak untuk dikaji. Untuk kemudian penentuan alternatif dengan AHP pada kriteria dampak lingkungan (LCA) dan kriteria aspek ekonomi.

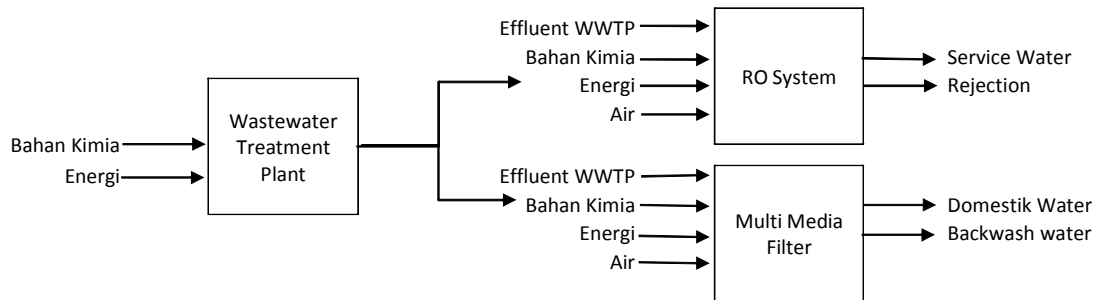
Pada penelitian ini akan digunakan teknik penelitian yang bersifat kuantitatif, dimana akan diperoleh besaran nilai dampak lingkungan dan besarnya nilai indikator-indikator kelayakan suatu proyek investasi atau pengangggaran modal berdasarkan rumus-rumus perhitungan untuk menganalisis keekonomisan unit pengembangan.

3.1.2 Definisi Ruang Lingkup

Definisi ruang lingkup dari LCA dan kajian finansial termasuk didalamnya mengidentifikasi unit fungsi dan batasan dan ruang lingkup penelitian. Unit fungsi dari penelitian ini adalah kuantitas air yang bisa direuse (treated water) yang memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Ruang lingkup LCA dan kajian finansial adalah proses operasi dan pemeliharaan kedua alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah, tidak termasuk fase konstruksi dan disposal seperti pada gambar 3.1. Terdapat 2 tahapan yaitu :

1. Waste Water Treatment Plant (WWTP) dan
2. Pengembangan Unit Daur Ulang, dengan 2 alternatif yaitu :
 - a. Pengolahan effluent WWTP menjadi air service

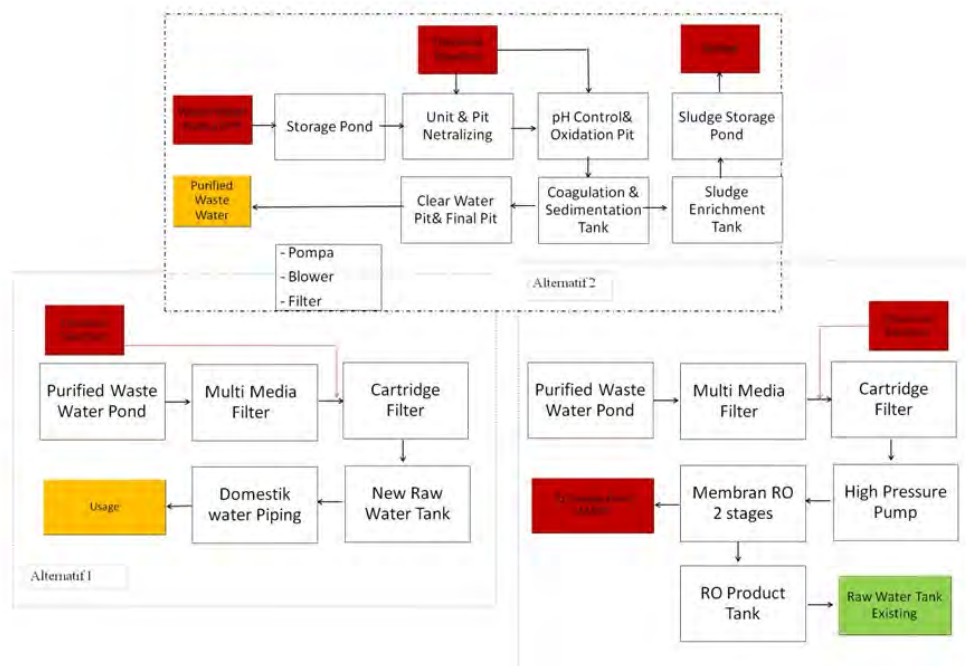
- b. Pengolahan effluent WWTP menjadi air domestik/ firefighting system.



Gambar 3.1 Ruang Lingkup Penelitian

3.1.3 Batasan Sistem

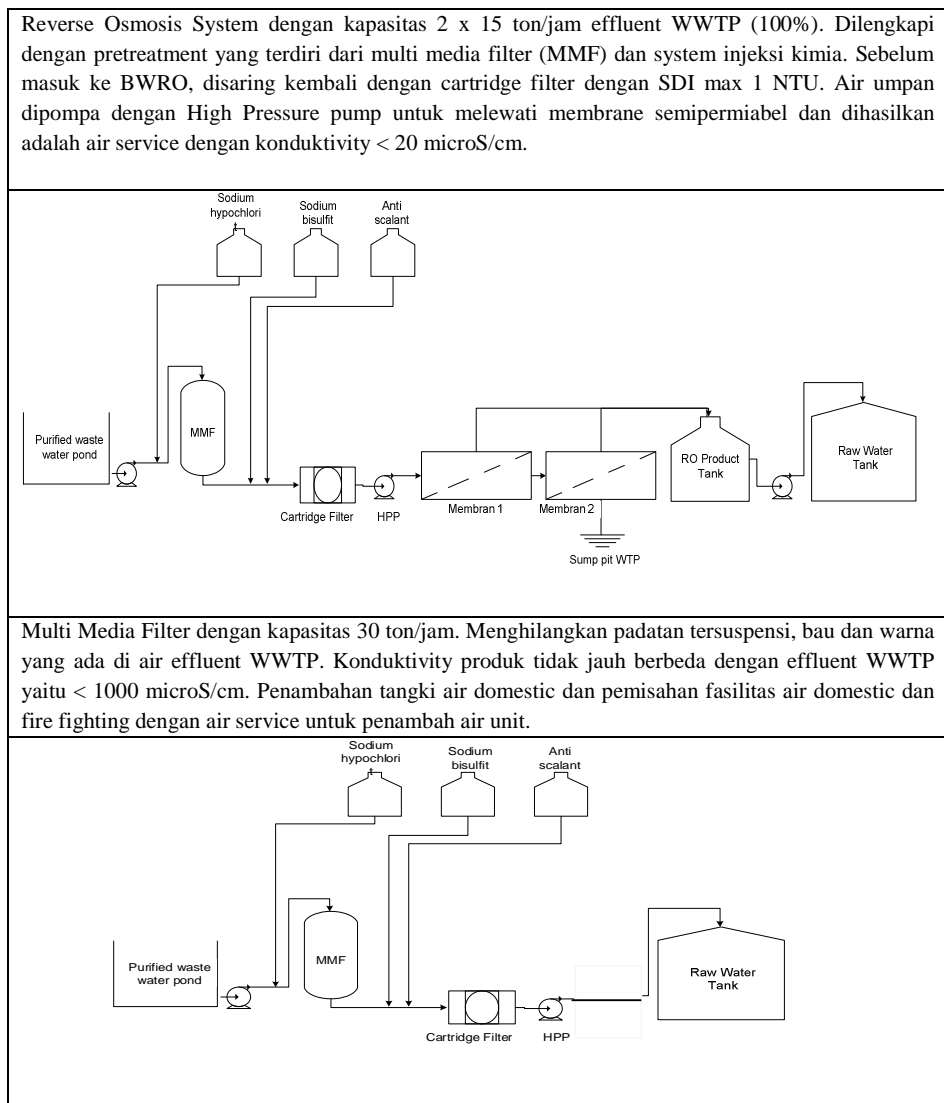
Pada penelitian ini, analisa *life cycle* adalah *gate-to-gate* yaitu mulai dari air limbah dari hasil operasi PLTGU Grati yang diolah di WWTP. Alternatif pengembangan dengan MMF System dan RO System sampai dihasilkan *recycled water* dan dapat dimanfaatkan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Boundary System LCA

3.1.4 Deskripsi Sistem

Alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah adalah dari proses di waste water treatment plant yang harus terdapat penambahan injeksi chlorin untuk mencegah pertumbuhan microalga. Menjadi penting untuk memastikan proses pengolahan air limbah di WWTP berjalan normal sehingga effluent WWTP memenuhi standar air umpan kedua alternatif pengembangan. Untuk kemudian diproses menjadi *service water* atau menjadi air domestik dengan proses seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Perbandingan Alternatif Pengembangan

3.2 Dampak Penilaian Lingkungan

Metode Eco-indicator 99 digunakan pada software SimaPro 7.0. 11 kategori dampak pada indikator ini dievaluasi menggunakan dasar pembobotan sesuai prespektif hirarki struktural. Kategori dampak ini dikelompokkan menjadi 3 kategori kerusakan : kesehatan manusia, kualitas ekosistem dan sumber daya (Goedkoop and Oele, 2008). Kategori gangguan pada kesehatan manusia terdiri dari kategori dampak dari potensi kanker, komponen organik pada pernafasan, perubahan iklim, radiasi dan lapisan ozon. Kategori kualitas ekosistem termasuk diantara *ecotoxicity*, *acidification/eutrophication* dan penggunaan lahan. Kategori sumber daya terdiri dari sumber daya mineral dan bahan bakar fosil. Bahan baku, sumber daya dan produk digunakan saat evaluasi dari *Ecoinvent database*, yang dikembangkan oleh *the Ecoinvent Center*, Switzerland.

3.3 Integrasi Kajian Finansial dan AHP

Dalam membuat kajian finansial pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati dilakukan perhitungan *payback periode* (PBP), *net present value* (NPV) dan *internal rate of return* (IRR). AHP diperlukan tidak hanya dalam penentuan antara dampak lingkungan dengan finansial, tetapi penentuan pemilihan alternatif dalam satu aspek ekonomi. Dalam perhitungan, kemungkinan PBP diterima, tetapi NPV dan IRR tidak dapat diterima atau PBP dan NPV diterima tetapi IRR tidak dapat diterima dan kemungkinan lainnya. Sehingga ini yang menyebabkan walaupun kajian finansial merupakan kajian kuantitatif, bisa jadi hasil dari parameter yang diukur harus ditentukan dengan AHP melalui *focus grup discussion* (FDG) atau survey.

Kedua pengembangan unit daur ulang memiliki kualitas hasil yang berbeda berupa *service water* atau *domestic water*. Kedua hal ini bisa dipilih tanpa harus menghilangkan salah satunya (*independent project*). Penentuan satu alternatif dalam penelitian ini dimaksudkan untuk membantu manajemen dalam pengambilan keputusan.

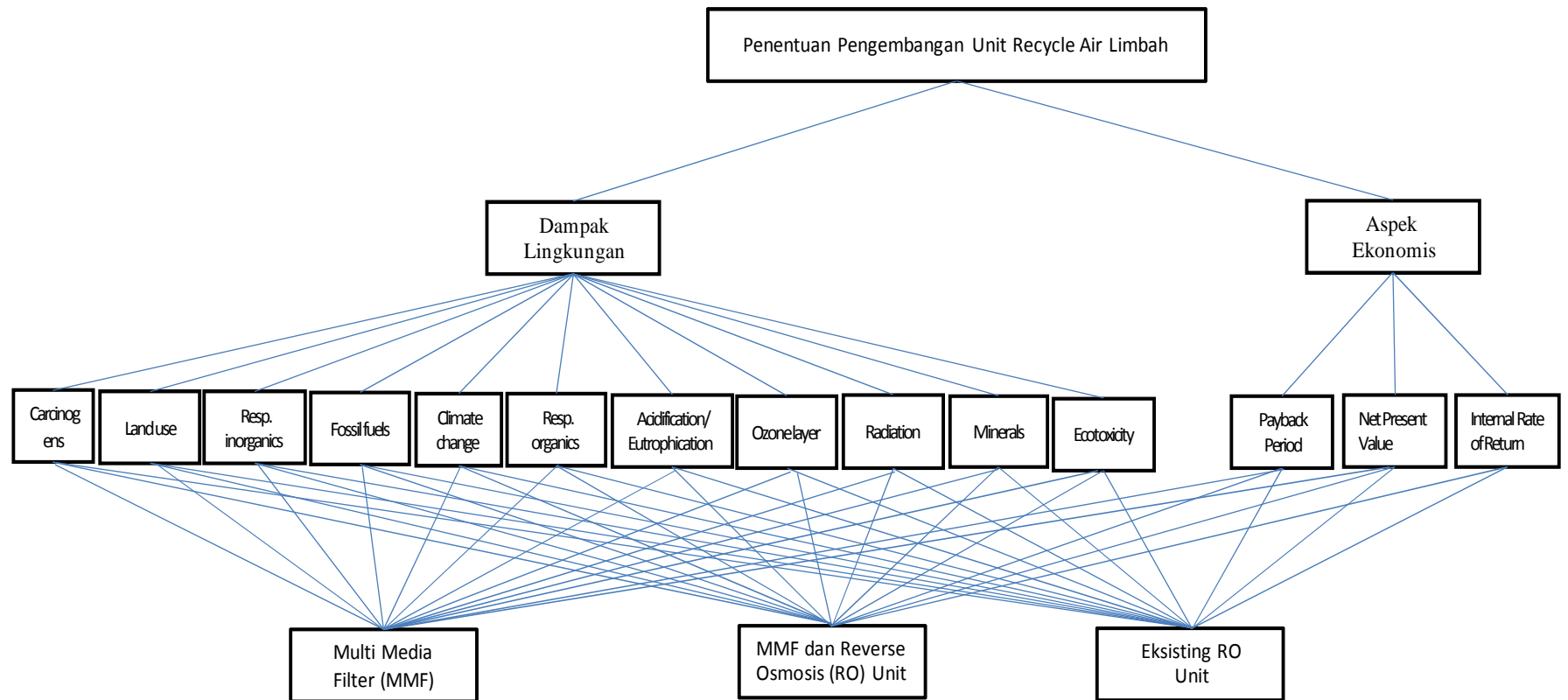
Perbandingan dilakukan adalah untuk melihat dampak lingkungan dan dampak finansial dari kedua alternatif. Perbandingan dampak lingkungan adalah bahwa

semua air limbah effluent WWTP akan 100% di daur ulang sedangkan dampak finansial dibandingkan dengan penjelasan berikut :

- *Service water* dibandingkan dengan air produksi *desalination plant* yang memproduksi air dengan kualitas yang sama dari RO Unit.
- *Domestic water* dibandingkan dengan air PDAM yang memproduksi kualitas air hampir sama dengan Multi Media Filter Unit.

3.4 Penilaian Perbandingan Berpasangan

Metode yang digunakan adalah melakukan wawancara pada Tim Proper yang juga mewakili bidang dilingkungan di PLTGU Grati. Tujuannya adalah agar bobot yang diperoleh merupakan hasil yang dianggap mewakili untuk setiap criteria. Selanjutnya menjelaskan kepada responden mengenai tujuan penelitian dan gambaran setiap alternatif, kemudian setiap responden diberikan gambaran mengenai prinsip-prinsip dasar metode *Analytical Hierarchy Process*. Setelah itu barulah responden melakukan penilaian berpasangan.



Gambar 3.4 Hierarki AHP Penentuan Alternatif

3.5 Tahapan Penelitian



Gambar 3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian pada gambar 3.5 dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi permasalahan, merumuskan permasalahan dan menetapkan tujuan penelitian. Terkait dengan lingkungan metode yang digunakan yaitu *Life Cycle Analysis*. Dilakukan kajian finansial dan *Analytical Hierarchy Process* untuk penentuan alternatif Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah PLTGU Grati .
2. Melakukan kajian pustaka, yaitu dengan mengkaji teori, temuan, dan bahan dari jurnal, buku dan penelitian terdahulu sebagai referensi dan dijadikan dasar dalam melakukan penelitian ini. Tema yang diambil adalah unit pengolahan air industri pembangkit listrik, *recycle* air industri dan penggunaan beberapa metode penelitian LCA dan AHP.
3. Studi lapangan, melakukan observasi pada unit eksisting RO PLTGU Grati dan Air Limbah, Pembangkit Listrik, Unit Pengolah Air limbah yang signifikan dengan penelitian yang akan dilakukan.
4. - Pengumpulan data sekunder operasional mini RO unit untuk penentuan input dan output dalam sistem alternatif.
 - Perhitungan prediksi nilai investasi dan pendapatan tahunan sistem alternatif dari harga masing-masing peralatan atau sistem.
 - Pengumpulan data primer dalam kegiatan FGD dengan tim PROPER PGT sebagai data kebutuhan program *Expert Choice*.
5. Analisa data dilakukan dengan memasukkan data sekunder yang telah diolah terkait kriteria dampak lingkungan dengan LCA dengan SimaPro. Menghitung kriteria finansial pengembangan unit dengan PBP, NPV dan IRR.
6. Melakukan perbandingan alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah dengan perhitungan hasil dari *Expert Choice* dan hasil *Focus Group Discussion* pihak terkait
7. Kesimpulan dan saran diharapkan merupakan jawaban dari perumusan masalah dan tercapainya tujuan penelitian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Objek Penelitian

PLTGU Grati memiliki unit pengolahan air limbah berupa *Waste Water Treatment Plant (WWTP)* untuk mengolah limbah cair dari kegiatan produksinya. Upaya 3R yang dilakukan adalah melakukan pengelolaan air limbah yang sudah diolah dalam WWTP (*Effluent WWTP*) dan kemudian dimanfaatkan lagi atau daur ulang (*recycle*) untuk kebutuhan air unit pembangkit.

Tahun 2014 mulai dioperasikan unit daur ulang *Effluent WWTP* dengan menggunakan RO unit yang didesain berdasar parameter fisika dan kimia dalam *effluent WWTP*. Untuk memberikan air umpan yang dapat diproses di unit daur ulang air limbah maka WWTP harus beroperasi secara optimal. Pada tabel 4.1 menunjukkan kualitas effluent WWTP yang sudah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan untuk dibuang ke lingkungan tetapi berpotensi untuk dimanfaatkan. Produk RO unit berupa air servis dimasukkan ke tangki penyimpanan air servis untuk memenuhi kebutuhan air penambah pembangkit dan domestik.

Tabel 4.1 Kualitas *Effluent WWTP* tahun 2013

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Uji 2013								
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Sept
PH	-	6 - 9	7.82	8.01	8.9	7.53	7.45	7.54	7.09	6.36	7.85
TSS	mg/l	100	1.2	3.6	3.2	1.6	2.8	4	3.36	2	6.94
Minyak dan Lemak	mg/l	10	< 1.05	< 1.05	< 1.05	1.1	< 1.05	< 2.17	< 2.17	< 1.05	< 2.17
Klorin bebas	mg/l	0.5	< 0.004	< 0.004	0.02	0.02	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
Kromium total	mg/l	0.5	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269	< 0.0269
Tembaga (Cu)	mg/l	1	< 0.0169	< 0.0169	< 0.0169	< 0.0169	< 0.0169	< 0.0169	0.002	< 0.0169	< 0.0169
Besi (Fe)	mg/l	3	< 0.0413	< 0.0413	0.128	0.0538	< 0.0413	< 0.0413	0.645	< 0.0413	0.619
Seng (Zn)	mg/l	1	< 0.0157	0.057	0.0806	0.0175	< 0.0157	< 0.0157	0.283	0.0411	< 0.0157
Phosphat (PO4)	mg/l	10	0.0883	0.554	0.246	0.098	0.037	1.57	0.814	0.04	1.6

4.2 Unit Daur Ulang Existing Air Limbah PLTGU Grati

Jumlah air limbah yang akan diolah dan dikembangkan dihitung berdasarkan pada hasil air limbah PLTGU Grati periode 2014 dan 2015. Dengan unit daur ulang air limbah yang ada (Eksisting) yang merupakan *pilot project* 3R, belum semua air limbah dimanfaatkan kembali atau didaur ulang. Pemanfaatan tertinggi adalah sebesar 624 ton air limbah sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Air

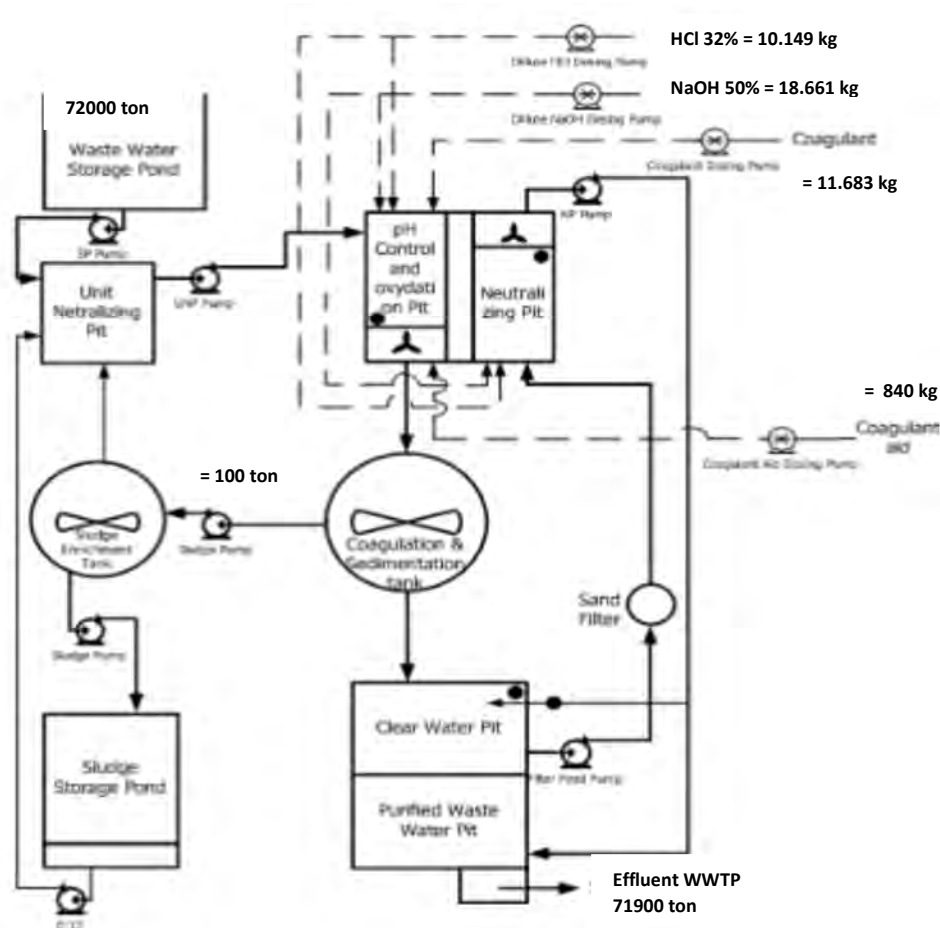
limbah yang diolah di WWTP adalah sebanyak 2015 adalah sebanyak 40.875,2 Ton dan untuk kemudian diproses di RO Unit existing dan dihasilkan produk sebanyak 2.326,4 Ton. Lebih rendah dibanding tahun 2014 yaitu dari total 32.679 Ton effluent WWTP, pemanfaatan adalah sebesar 4.555 Ton.

Tabel 4.2 Jumlah Produksi Air Limbah dan Pemanfaatannya 2014-2015.

Bulan	2014		2015	
	Jumlah Air Limbah yang di proses (m3/bulan)	Jumlah air yang dimanfaatkan (m3/bulan)	Jumlah Air Limbah yang di proses (m3/bulan)	Jumlah air yang dimanfaatkan (m3/bulan)
Januari	4305.10	238.82	4607.70	307.26
Februari	4240.50	403.82	2376.60	428.30
Maret	-	334.41	4121.80	279.02
April	2211.30	279.02	6701.50	312.15
Mei	2850.30	231.53	1183.90	259.17
Juni	2013.20	300.78	2979.10	336.21
Juli	1991.60	391.95	3364.00	268.34
Agustus	1678.80	181.73	3432.00	40.70
September	4226.60	624.21	3391.30	81.33
Oktober	3648.70	396.21	1588.90	13.89
November	1602.30	569.91	1838.30	0.00
Desember	3911.10	603.40	5290.10	0.00

Berikut adalah proses pengolahan air limbah di WWTP PLTGU Grati yang menggunakan prinsip koagulasi, flokulasi dan netralisasi air limbah seperti gambar 4.1. Adapun tahapan pengolahan air terdiri dari 2 yaitu Waste Water Treatment Plant dan Unit Daur Ulang Air Limbah dengan konsumsi bahan kimia, listrik dan produk utama menggunakan data tahun 2014 dan 2015.

Pada tabel 4.3 menunjukkan perbandingan jumlah total air limbah, pemanfaatannya dan pemakaian bahan kimia tahun 2014 dan 2015. Dikarenakan pada tahun 2015 terjadi perubahan jenis bahan kimia dan dosis injeksi sehingga



Pemakaian listrik : 86.931,97 KWh

Gambar 4.1 Pengolahan Air Limbah di WWTP PLTGU Grati

pola pemakaian bahan kimia menjadi berbeda. Sehingga faktor bahan kimia (kg/ton) tahun 2014 dijadikan dasar untuk menghitung pemakaian bahan kimia unit pengembangan daur ulang berdasar volume air limbah yang akan diolah.

WWTP mengolah air limbah yang sama yaitu sebanyak 72000 ton/tahun, sehingga kebutuhan listrik, bahan kimia dan tenaga kerja yang sama seperti pada gambar 4.1. Walaupun dalam unit Reverse Osmosis akan diperoleh hasil samping berupa *rejection water*. *Reject* ini akan dikembalikan pada bak penampung effluent WWTP sehingga tidak akan merubah kinerja WWTP.

Tabel 4.3. Pemanfaatan Air Limbah dan Penggunaan Kimia Tahun 2014-2015

Parameter	Satuan	2014	2015
Air Limbah	Ton	32.679,50	40.875,20
Effluent WWTP	Ton	32.679,50	40.875,20
Produk RO	Ton	4.555,76	2.326,36
HCl	Kg	4.612,98	7.921,20
NaOH	Kg	8.481,63	5.683,65
Coagulant	Kg	5.310,00	1.236,00
Coagulant Aid	Kg	381,82	381,82
Sodium Hypochlorid	Kg	40,00	35,56
Sodium Bisulfite	Kg	240,00	259,91
Antiscalant	Kg	55,00	40,58

4.3 Desain dan Kapasitas Produksi

Tabel 4.4. Perbandingan Pengembangan Unit Daur Ulang.

Keterangan	Alternatif Pengembangan		
	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Pretreatment (MMF) - Kapasitas (Ton) - Masa Manfaat Ekonomis - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%)	2 x 15 Ton/jam 5 tahun Ppn 10%	6,3 + 15 Ton/jam 5 tahun Ppn 10%	6,3 Ton/jam 5 tahun Unit Existing
RO Unit - Kapasitas (Ton) - Masa Manfaat Ekonomis - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%) - PS (kWh)	26.749 kWh	14 Ton/jam 5 tahun Sudah Include 145.510 kWh	4Ton/jam 5 Tahun Unit Existing 76.128 kWh
Tangki Service Water - Kapasitas (M ²) - Masa Manfaat Ekonomis - PS (kWh) - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%)	600 Ton 25 - Ppn 10%	Existing	300 Ton
Volume Pemanfaatan	= 6000 ton/bulan	= 6048 ton/bulan	= 2400 ton/bulan

Produksi pengembangan unit daur ulang didasarkan desain peralatan pada setiap alternatif. Desain dari kedua alternatif pengembangan dan unit MMF-RO Eksisting secara garis besar dapat dilihat pada tabel 4.4. Desain pengembangan

unit daur ulang dioptimalkan sehingga semua limbah cair hasil operasi pembangkit bisa diolah atau *zero waste*.

4.3.1 Alternatif Multi Media Filter (MMF) memproduksi Air Domestik

Alternatif pertama pengembangan unit daur ulang air limbah *effluent WWTP* adalah penambahan 2 unit MMF dengan kapasitas 15 ton/jam sehingga dapat mendaur ulang air limbah sebanyak 600 ton/hari apabila beroperasi 20 jam setiap harinya. Karena kualitas air limbah dari MMF tidak mengalami penurunan *conductivity*(daya hantar) tapi hanya berupa perbaikan nilai *Suspended Solid* (SS) dan kekeruhan (NTU), maka harus dimasukkan dalam tangki yang berbeda.

Perlu dilakukan investasi 1 unit storage pond effluent WWTP kapasitas 600 m³ untuk kebutuhan air domestik khususnya fire fighting. Neraca massa MMF untuk memproduksi air domestic dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Neraca Massa MMF Memproduksi Air Domestik

Input			Output		
Material	Quantity	Unit	Material	Quantity	Unit
Air Limbah	72000	Ton			
WWTP					
HCl	10.149	Kg	<i>Effluent WWTP</i>	71900	Ton
NaOH	18.661	Kg	<i>Sludge WWTP</i>	100	Ton
Coagulant	11.683	Kg		72000	Ton
Coagulant Aid	840	Kg			
Listrik	86.932	KWh			
MMF					
Listrik	26.749	KWh	<i>Service Water</i>	71900	Ton

4.3.2 Alternatif MMF dan RO memproduksi Air Servis

Alternatif kedua unit pengembangan daur ulang *effluent WWTP* adalah dengan menambahkan 1 unit MMF-RO kapasitas 10 ton/jam menjadi total 14 ton/jam sehingga semua air limbah dapat dimanfaatkan. *Reject* dari RO unit akan ditampung dalam *storage pond* dengan perhitungan sebagai berikut :

Pemanfaatan air limbah = 6000 ton/bulan

Jumlah effluent WWTP = 9448 ton/bulan

Produk RO = 0,635 x 9448 ton/bulan = 6.000 ton/bulan

Reject RO = $0,365 \times 9448$ ton/bulan = 3.448 ton/bulan

Kapasitas Produksi RO = (10+4) ton/jam

Volume pemanfaatan = 14 ton/jam x 20 jam/hari = 280 ton/hari

Hari Operasi = $6000/280$ ton/hari = 21,4 hari/bulan

Neraca massa MMF-RO untuk memproduksi air servis bisa dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Neraca Massa MMF-RO Basis dalam 1 tahun

Input			Output		
Material	Quantity	Unit	Material	Quantity	Unit
RO Unit	113280	Ton			
Sodium Hypochlorid	633	Kg	<i>Recycled Water</i>	71900	Ton
Sodium Bisulfite	3.796	Kg	<i>Rejection RO</i>	41380	Ton
Antiscalant	870	Kg			
Listrik	145.510.98	KWh	Ke lingkungan	0	Ton

4.3.3 Unit Existing RO memproduksi Air Servis

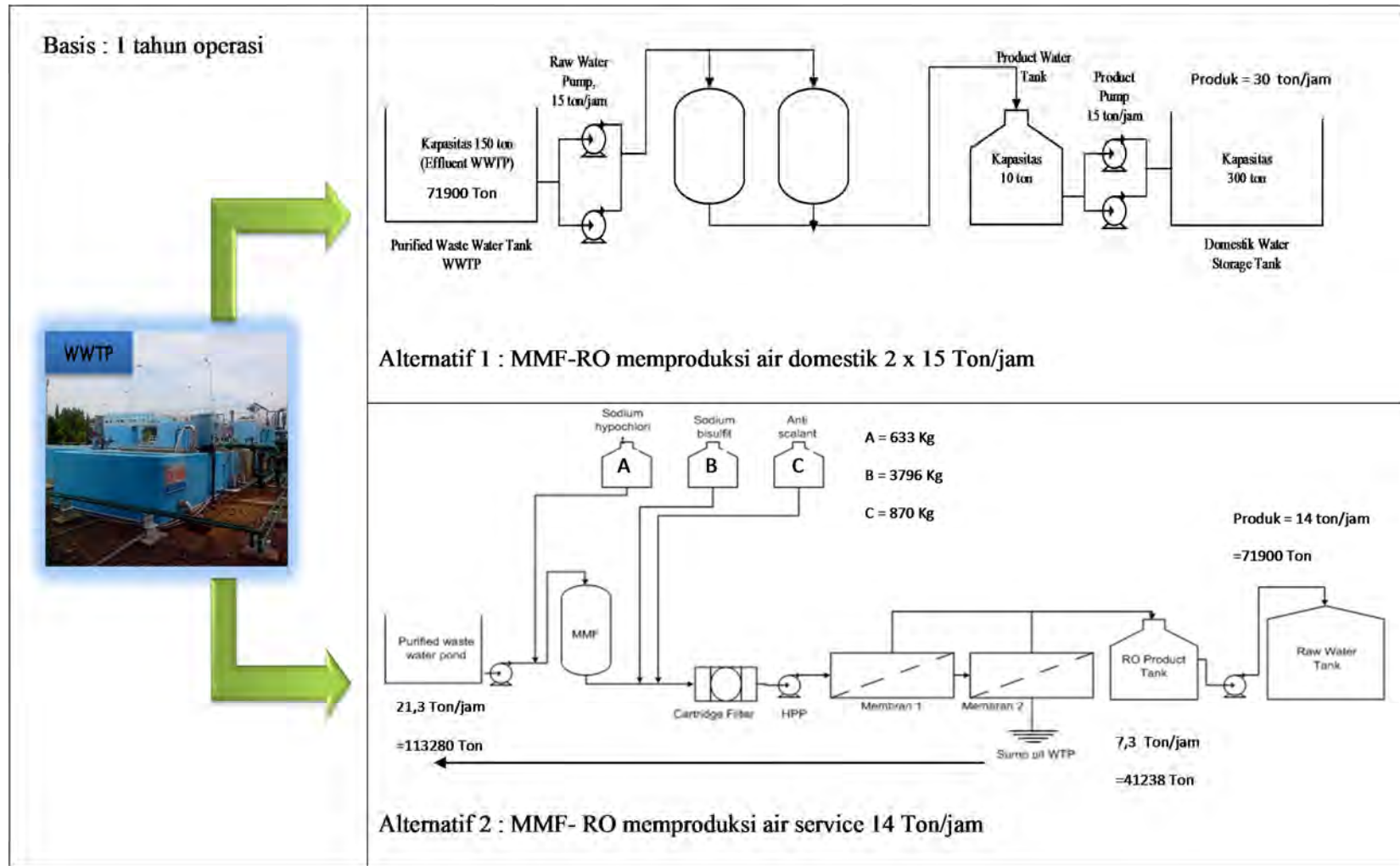
Desain dan perbandingan kedua alternatif diatas akan dibandingkan dengan unit daur ulang MMF-RO Existing. Air limbah yang bisa diolah dengan RO Unit existing adalah sebesar maksimum 2400 ton/bulan dengan neraca massa seperti pada tabel 4.7

Tabel 4.7. Neraca Massa RO Existing Basis dalam 1 Tahun

Input			Output		
Material	Quantity	Unit	Material	Quantity	Unit
RO Unit	46800				
Sodium Hypochlorid	261	Kg	<i>Recycled Water</i>	28800	Ton
Sodium Bisulfite	1,566	Kg	<i>Rejection RO</i>	18000	Ton
Antiscalant	359	Kg		46800	
Listrik	76,128	KWh	Ke lingkungan	25100	Ton

4.4 Analisis Dampak lingkungan

Dampak lingkungan pemilihan alternatif ditentukan dari hasil pengolahan data dalam program SimaPro 7.0. Data yang diinput adalah bahan kimia yang digunakan, pemakaian daya listrik dan limbah yang dihasilkan. Penambahan unit blok III *combined cycle* pada tahun 2018 akan meningkatkan volume limbah cair menjadi dua kalinya atau 6000 ton/bulan.

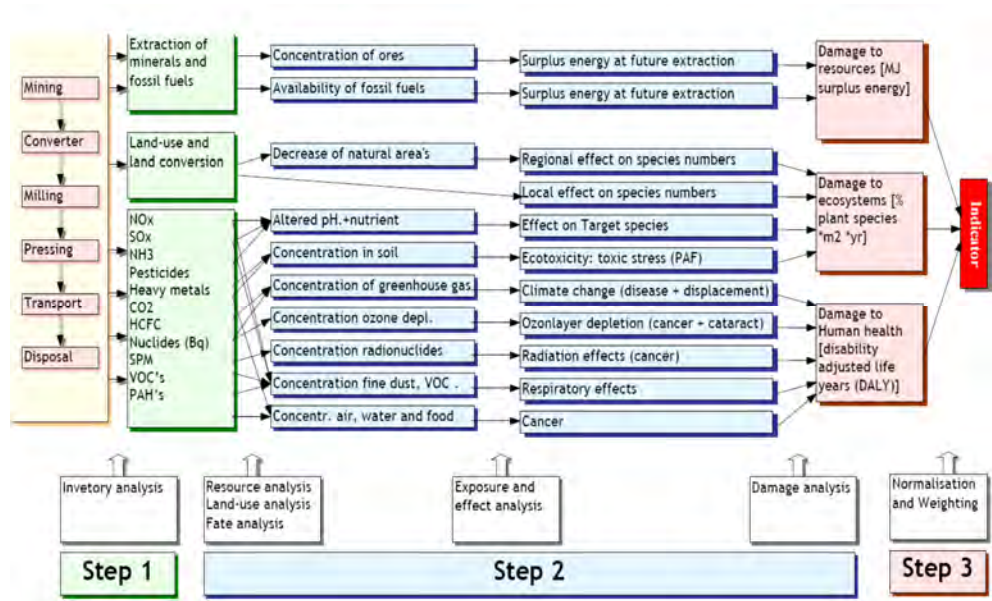


Gambar 4.2. Alternatif Pengembangan Unit Daur Ulang

Analisa dampak lingkungan dengan SimaPro 7.0 dilakukan untuk kedua alternatif pengembangan dan unit daur ulang existing yang sudah ada seperti pada gambar 4.2. Ketiganya menggunakan *effluent WWTP* dari pengolahan air limbah PLTGU Grati untuk kemudian diolah dalam unit daur ulang. Dampak lingkungan dengan metode Eco-indicator 99 akan mengukur 11 kategori dampak lingkungan seperti pada tabel 4.8 dan penyederhanaan kategori dari 9 menjadi 3 kategori dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.8. Deskripsi Dampak Lingkungan Metode Eco-Indicator 99

No.	Dampak	Keterangan
1	Carcinogen/ Penyebab kanker	Apabila 100% air limbah di daur ulang, tidak ada yang terbuang ke lingkungan. Kandungan Arsen, Benzene, Nikel, Chromium dan PAH berpotensi menyebabkan kanker
2	Penyerapan Organik	Air limbah pembangkit bersifat anorganik seperti terlihat pada tabel 3 dengan kandungan yang sangat rendah.
3	Penyerapan Anorganik	Kandungan bahan kimia anorganik sangat rendah, tetapi lebih besar dibanding penyerapan organik.
4	Perubahan iklim	Pembakaran bahan bakar menimbulkan emisi CO ₂ yang membuat pemanasan global dan perubahan iklim
5	Radiasi	Pengembangan unit daur ulang tidak mengandung zat radiaktif.
6	Lapisan Ozon	Emisi dari pembakaran gas alam pembangkit untuk membangkitkan listrik, tetapi tidak secara langsung sehingga sangat kecil
7	Ecotoksisitas	Setiap proses menghasilkan emisi baik ke udara, air, tanah dan lingkungan dari awal sampai dengan akhir proses, dari bahan baku kebutuhan unit.
8	Pengasaman	Bahan organik berupa Nitrogen, minyak, benzene dari tahapan proses bahan sd produk <i>recycled water</i>
9	Penggunaan lahan	Biodiversitas pada luas area pembangunan unit baru akan berkurang.
10	Mineral	Untuk memproduksi gas alam harus dilakukan eksplorasi dan eksploitasi mineral dari perut bumi.
11	Fossil Fuel	Listrik dibangkitkan dari gas alam yang merupakan bahan bakar fosil



Gambar 4.3. Penyederhanaan Kategori Dampak Eco-indicator 99

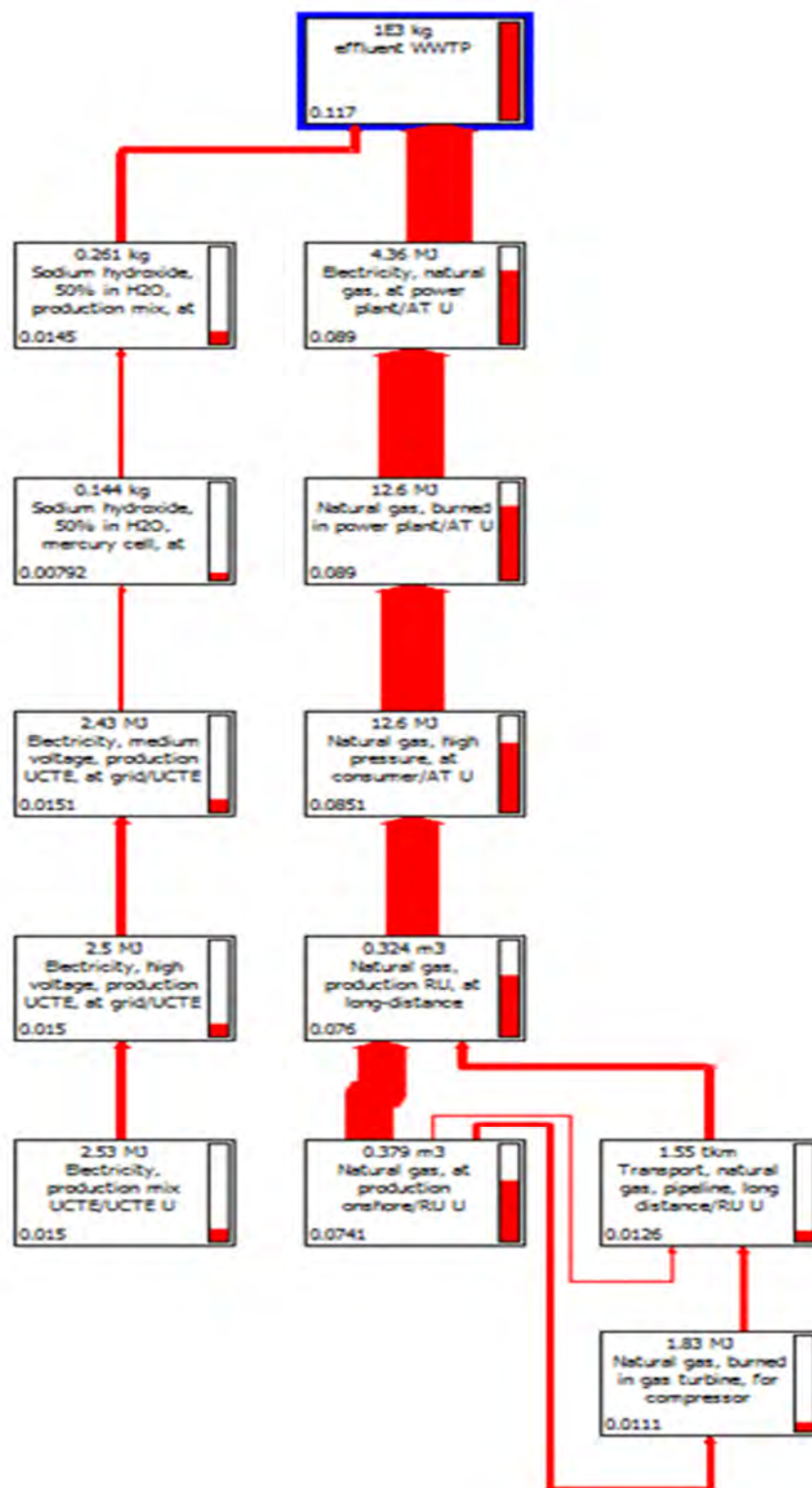
4.4.1 Dampak Lingkungan WWTP PLTGU Grati

Pengolahan air limbah di WWTP menggunakan bahan kimia dan pemakaian energy listrik. Tabel 4.9 adalah hasil analisa dampak lingkungan dari 1 Ton *effluent* WWTP yang sudah dikonversi dalam satuan single score (Pt) dan total dampak lingkungan sebesar 0,1167 Pt.

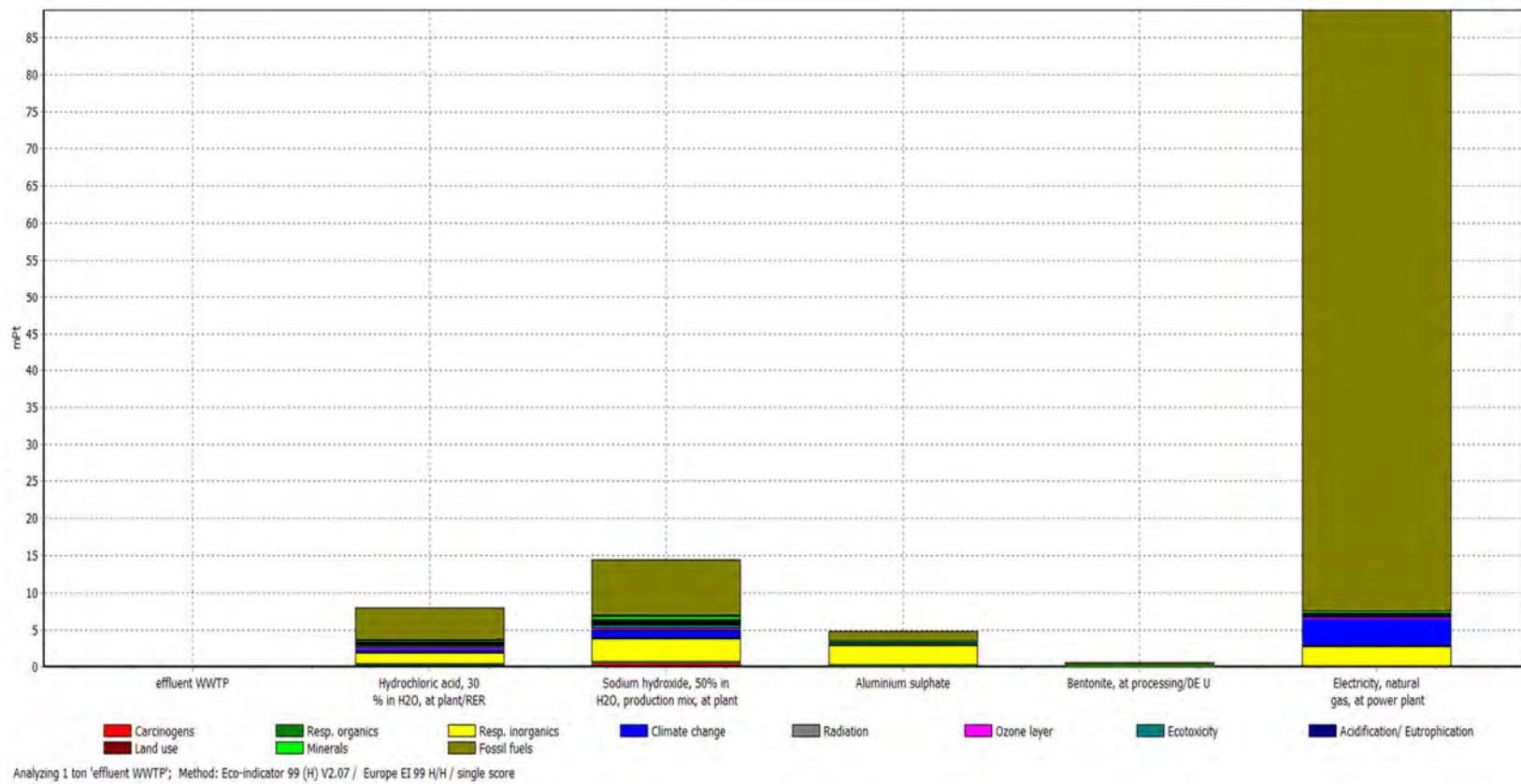
Tabel 4.9 Analisa Dampak Lingkungan dari 1 Ton *Effluent* WWTP

Method: Eco-indicator 99 (H) V2.07 / Europe EI 99 H/H, Single Score

Impact category	Unit	Total	Hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant/RER U	Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant/RER U	Aluminium sulphate	Bentonite, at processing/DE U	Electricity, natural gas, at power plant/AT U
Total	Pt	0.116728	0.008063	0.014432	0.00489	0.000608	0.088735
Carcinogens	Pt	0.00093	0.000263	0.000545	8.02E-05	8.16E-06	3.32E-05
Resp. organics	Pt	1.79E-05	9.96E-07	1.7E-06	1.05E-06	1.15E-07	1.4E-05
Resp. inorganics	Pt	0.010458	0.001647	0.003272	0.002807	0.000112	0.00262
Climate change	Pt	0.005837	0.000513	0.001191	0.000183	2.4E-05	0.003926
Radiation	Pt	0.000118	3.05E-05	8.55E-05	0	7.52E-07	9.46E-07
Ozone layer	Pt	9.13E-06	3.97E-06	3.67E-07	2.81E-07	6.08E-08	4.45E-06
Ecotoxicity	Pt	0.001163	0.000399	0.000586	0.000111	1.3E-05	5.44E-05
Acidification/Eutrophication	Pt	0.001211	0.000151	0.000322	0.000262	1.02E-05	0.000466
Land use	Pt	0.000655	0.000136	0.000229	0	-1E-05	0.0003
Minerals	Pt	0.00118	0.000478	0.000643	0	1.39E-05	4.54E-05
Fossil fuels	Pt	0.095149	0.004441	0.007556	0.001445	0.000437	0.081271



Gambar 4.4. Struktur Jaringan 1 Ton Effluent WWTP



Gambar 4.5 Distribusi Dampak dari Effluent WWTP

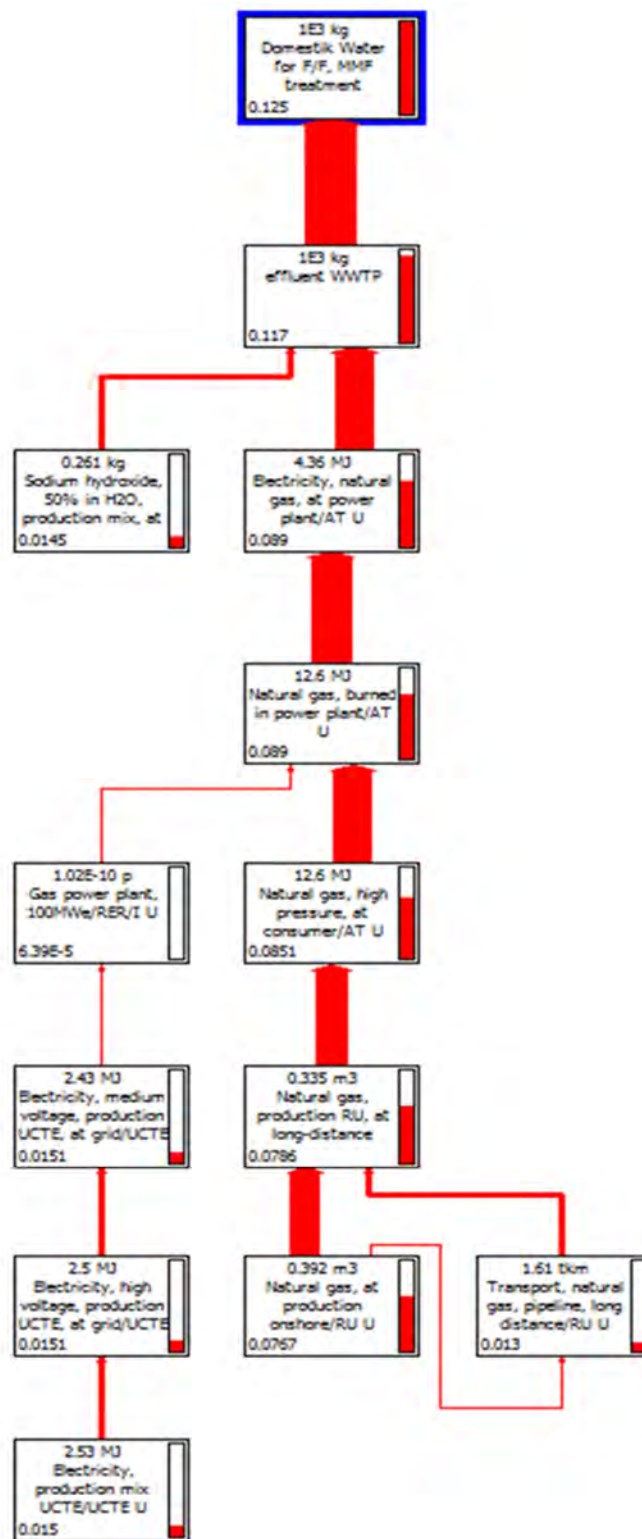
Faktor utama pada pengolahan air limbah di WWTP dalam struktur jaringan gambar 4.4 adalah bahan kimia sodium hidroksida (NaOH) 50% dan penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan peralatan pompa, blower dan agitator. Karena jumlah yang lebih kecil, HCl, koagulan dan koagulan aid tidak muncul dalam gambar struktur jaringan tetapi muncul dalam distribusi dampak dari SimaPro 7.0. Dampak lingkungan yang paling tinggi adalah bahan bakar dan mineral atau sumber daya alam. Sedang yang paling rendah adalah ozone layer, karena tidak ada bahan kimia input dan output yang merusak lapisan ozone.

Tidak semua bahan kimia yang digunakan berdampak pada lingkungan. Seperti HCl 30%, Aluminium Sulfat (*Coagulant*) dan Bentonite (*Coagulant Aid*) tidak terukur dalam struktur jaringan. Bentonite adalah bahan kimia pengganti dalam perhitungan dalam SimaPro 7.0. Bahan kimia berdampak tetapi sangat kecil dibandingkan dengan pemakaian energi.

Distribusi dampak dari effluent WWTP yang mengukur 11 kategori dampak lingkungan dapat dilihat pada gambar 4.5 dengan pemakaian listrik adalah dampak tertinggi..

Tabel 4.10 *Single Score Analisa Dampak Alternatif MMF – Air Domestik*

Impact category	Unit	Total	effluent WWTP	Natural gas, burned in power plant
Total	Pt	0.124852	0.116728	0.008124
Carcinogens	Pt	0.000933	0.00093	3.23E-06
Resp. organics	Pt	1.85E-05	1.79E-05	6.46E-07
Resp. inorganics	Pt	0.010689	0.010458	0.000231
Climate change	Pt	0.00621	0.005837	0.000373
Radiation	Pt	0.000118	0.000118	1.6E-07
Ozone layer	Pt	9.39E-06	9.13E-06	2.54E-07
Ecotoxicity	Pt	0.001168	0.001163	4.91E-06
Acidification	Pt	0.001258	0.001211	4.69E-05
Land use	Pt	0.000685	0.000655	3.03E-05
Minerals	Pt	0.001185	0.00118	4.46E-06
Fossil fuels	Pt	0.102579	0.095149	0.007429



Gambar 4.6. Struktur Jaring Unit MMF Memproduksi Air Domestik

4.4.2 Dampak Lingkungan Unit MMF Memproduksi Air Domestik

Pengolahan air limbah pada unit MMF untuk memproduksi air domestik dengan air umpan dari *Effluent WWTP*. Tidak ada bahan kimia yang diinjeksi, hanya pemakaian energy listrik. Tabel 4.10 adalah hasil analisa dampak lingkungan dari 1 Ton Air Domestik yang sudah dikonversi dalam satuan single score (Pt) dan total dampak lingkungan sebesar 0,1248 Pt. Gambar 4.6 menunjukkan struktur jaringan unit MMF memproduksi air domestic.

4.4.3 Dampak Lingkungan Unit MMF-RO Memproduksi Air Servis

Pengolahan air limbah pada Unit MMF-RO untuk memproduksi air servis dengan air umpan dari *Effluent WWTP*. Ada 3 jenis bahan kimia yang diinjeksi dan pemakaian energy listrik. Tabel 4.11 adalah hasil analisa dampak lingkungan dari 1 Ton Air Servis dari MMF-RO kapasitas produksi 14 Ton/jam sudah dikonversi dalam satuan *single score* (Pt) dan total dampak lingkungan sebesar 0,2314 Pt. Gambar 4.7 menunjukkan struktur jaringan unit MMF RO memproduksi air servis.

Tabel 4.11 *Single Score* Analisa Dampak Alternatif MMF-RO – Air Servis

Impact category	Unit	Total	effluent WWTP	Sodium hypochlorite, 15% in H ₂ O,	Sodium bisulfit 40%	Sodium Hexameta Phosphate 20%	Natural gas, burned in power plant
Total	Pt	0.231375	0.183823	0.000496	0.002068	0.000731	0.044257
Carcinogens	Pt	0.001527	0.001464	1.5E-05	2.14E-05	8.88E-06	1.76E-05
Resp. organics	Pt	3.4E-05	2.81E-05	6.53E-08	1.71E-06	5.7E-07	3.52E-06
Resp. inorganics	Pt	0.018192	0.016469	0.0001	0.000206	0.00016	0.001258
Climate change	Pt	0.011393	0.009192	3.32E-05	1E-04	3.41E-05	0.002033
Radiation	Pt	0.000191	0.000185	1.87E-06	2.02E-06	1.34E-06	8.74E-07
Ozone layer	Pt	1.59E-05	1.44E-05	1.16E-08	7.28E-08	9.97E-08	1.38E-06
Ecotoxicity	Pt	0.001955	0.001832	2.29E-05	4.98E-05	2.36E-05	2.68E-05
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.002212	0.001907	9.79E-06	2.3E-05	1.57E-05	0.000256
Land use	Pt	0.001233	0.001031	8.87E-06	1.88E-05	9.58E-06	0.000165
Minerals	Pt	0.001956	0.001859	2.8E-05	3.63E-05	9.17E-06	2.43E-05
Fossil fuels	Pt	0.192665	0.149841	0.000276	0.001609	0.000468	0.040471

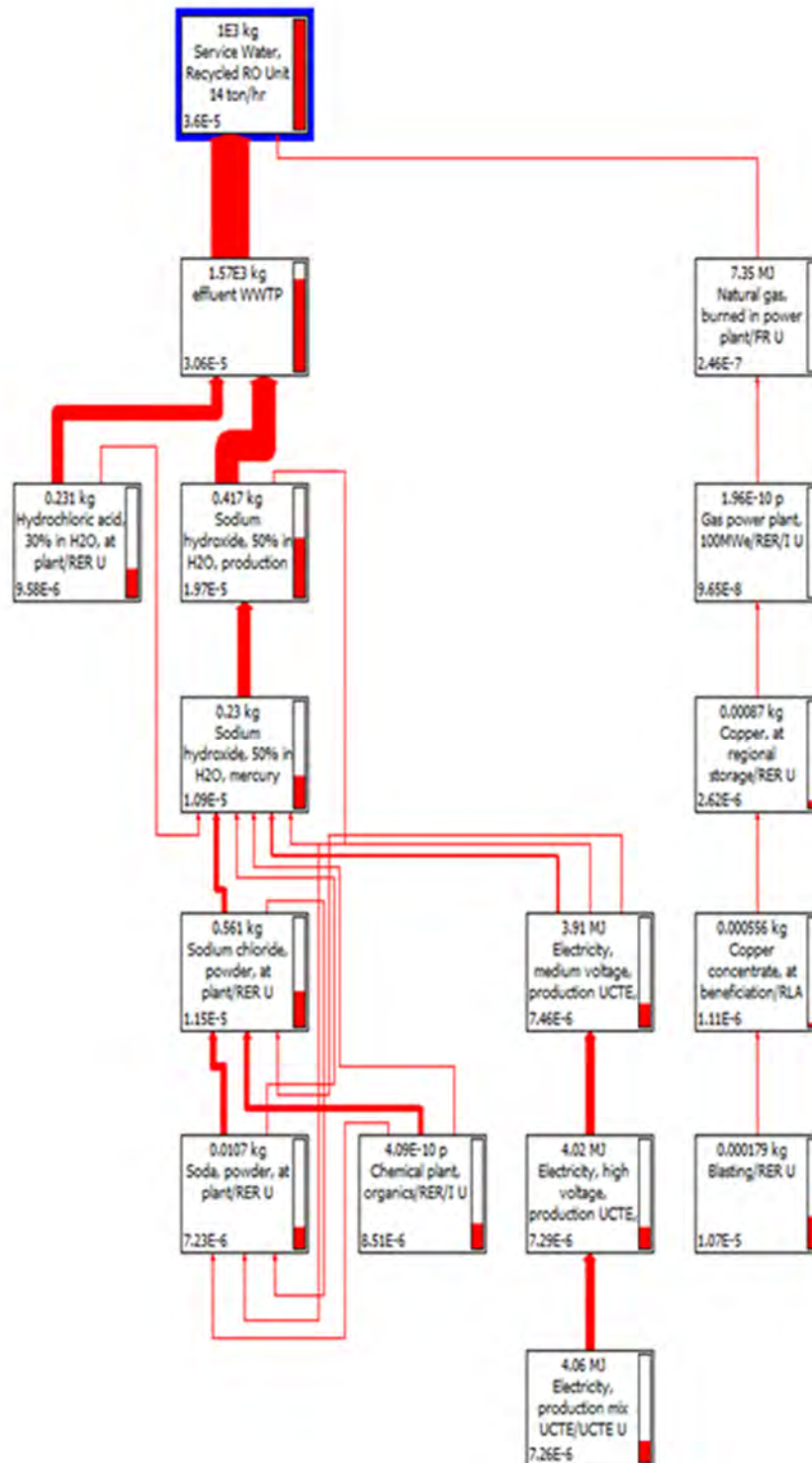
4.4.4 Dampak Lingkungan *Existing* RO memproduksi Air Servis

Tabel 4.12 Single Score Analisa Dampak Alternatif MMF-RO – Air Servis

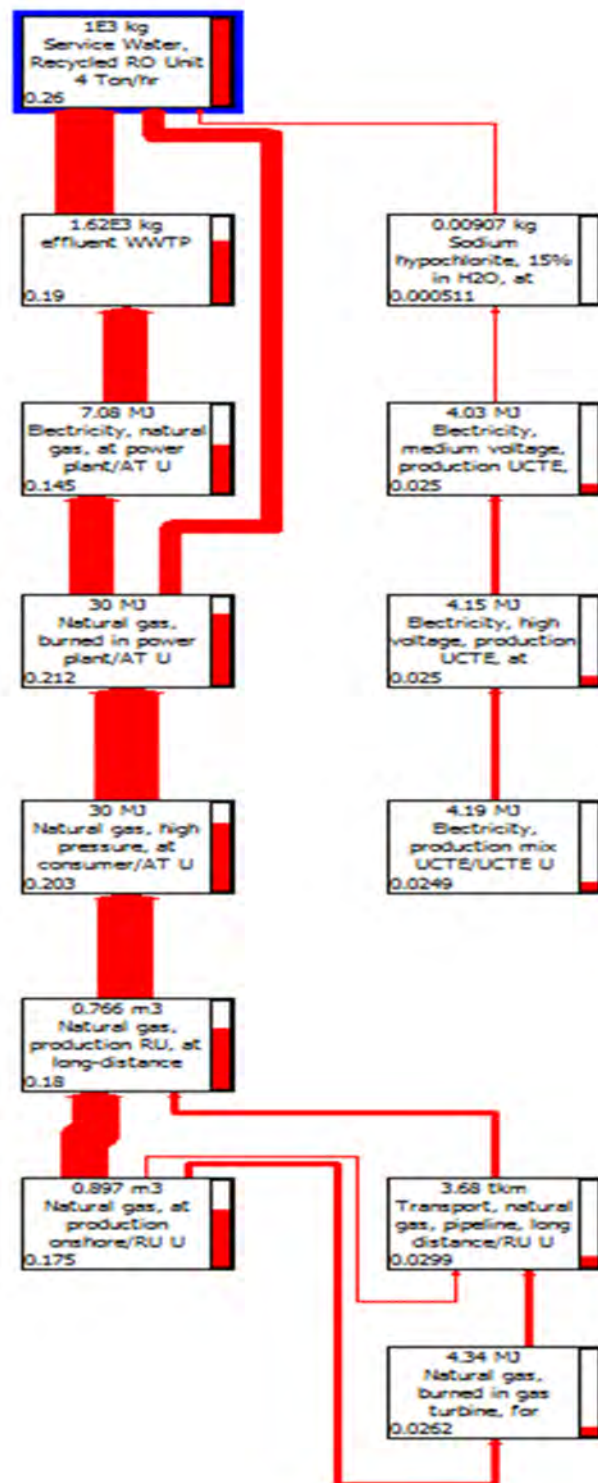
Impact category	Unit	Total	effluent WWTP	Sodium hypochlorite, 15% in H ₂ O,	Sodium bisulfit 40%	Sodium Hexameta Phosphate 20%	Natural gas, burned in power plant
Total	Pt	0.260296	0.189683	0.00051	0.00213	0.000753	0.06722
Carcinogens	Pt	0.001583	0.001511	1.54E-05	2.2E-05	9.14E-06	2.52E-05
Resp. organics	Pt	4.21E-05	2.9E-05	6.72E-08	1.76E-06	5.87E-07	1.06E-05
Resp. inorganics	Pt	0.019458	0.016994	0.000103	0.000212	0.000165	0.001985
Climate change	Pt	0.012632	0.009485	3.42E-05	0.000103	3.51E-05	0.002974
Radiation	Pt	0.000197	0.000191	1.92E-06	2.08E-06	1.38E-06	7.16E-07
Ozone layer	Pt	1.84E-05	1.48E-05	1.2E-08	7.49E-08	1.03E-07	3.37E-06
Ecotoxicity	Pt	0.002031	0.00189	2.36E-05	5.13E-05	2.44E-05	4.12E-05
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.002371	0.001968	1.01E-05	2.37E-05	1.61E-05	0.000353
Land use	Pt	0.001329	0.001064	9.13E-06	1.94E-05	9.87E-06	0.000227
Minerals	Pt	0.002028	0.001918	2.89E-05	3.74E-05	9.45E-06	3.44E-05
Fossil fuels	Pt	0.218607	0.154618	0.000284	0.001657	0.000482	0.061566

Pengolahan air limbah pada MMF-RO Unit Existing untuk memproduksi air servis dengan air umpan dari Effluent WWTP. Tabel 4.12 adalah hasil analisa dampak lingkungan dari 1 Ton Air Servis dari MMF-RO kapasitas produksi 4 Ton/jam sudah dikonversi dalam satuan single score (Pt) dan total dampak lingkungan sebesar 0,2603 Pt. Struktur jaringan dari unit existing MMF-RO dapat dilihat pada gambar 4.8.

Pemakaian bahan kimia dan energy listrik unit MMF-RO existing lebih kecil dibandingkan unit pengembangan, tetapi memiliki dampak lingkungan yang lebih besar. Apabila dilakukan simulasi perubahan inlet proses yaitu semua effluent WWTP yang tidak dimanfaatkan atau dibuang ke lingkungan menyebabkan nilai dampak menjadi 0,362 Pt.



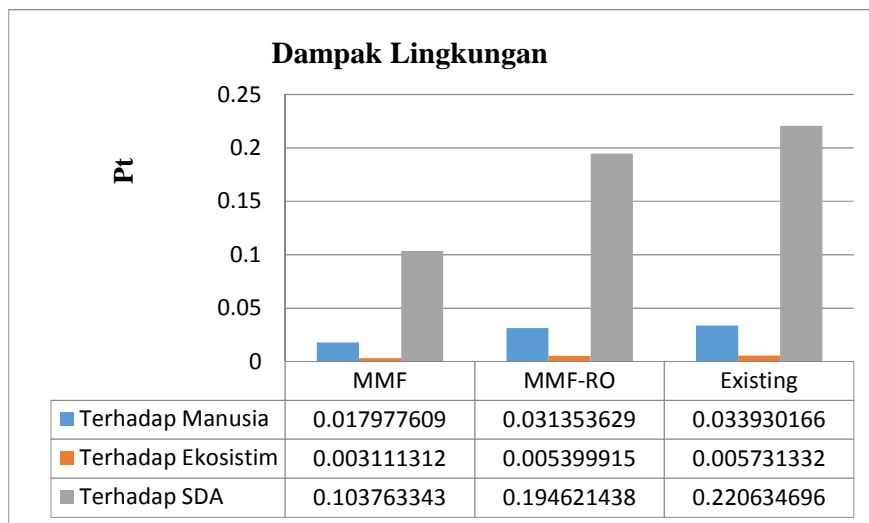
Gambar 4.7. Struktur Jaringan Unit MMF-RO Kapasitas 14 Ton/jam Memproduksi Air Servis



Gambar 4.8. Struktur Jaringan 1 Ton Air Servis MMF-RO Existing

Dari ketiga alternatif di atas maka yang memiliki dampak lingkungan tertinggi adalah unit eksisting sebagaimana dibandingkan dalam gambar 4.9. Dampak Lingkungan dengan menggunakan kategori dampak Eco-indikator 99 secara garis besar dikelompokkan sebagai berikut :

1. Kerusakan pada kesehatan manusia, dinyatakan dengan angka kehilangan tahun hidup dan angka tahun hidup cacat. Terdiri dari perubahan cuaca, penipisan lapisan ozon, efek radiasi, respirasi organik-anorganik dan kanker.
2. Kerusakan kualitas ekosistem, menunjukkan kehilangan spesies pada daerah dan periode waktu tertentu. Terdiri dari penggunaan lahan dan keracunan lingkungan (*ecotoxicity*).
3. Kerusakan sumber daya alam (SDA), dinyatakan tambahan energi dimasa depan yang berasal dari mineral dan bahan bakar fosil.



Gambar 4.9. Dampak Lingkungan Berdasar Pengelompokan Kriteria

Unit eksisting tidak dapat mendaur ulang semua air limbah effluent WWTP, sehingga ada sebagian air limbah yang tetap dibuang ke lingkungan. Dampak terhadap manusia dan dampak terhadap SDA merupakan parameter yang memiliki trend yang hampir sama yaitu lebih tinggi daripada alternatif lain, sehingga alternatif pengembangan adalah tepat.

4.5 Analisa Ekonomi

Dalam memperhitungkan nilai investasi unit pemanfaatan air limbah dengan proses daur ulang air limbah didasarkan pada harga investasi alternatif unit, rencana volume pemanfaatan, biaya listrik, biaya operasi dan pemeliharaan, dimana asumsi yang digunakan sebagai berikut :

1. Masa Manfaat ekonomis

Masa kontrak kerjasama diassumsikan sama dengan masa kerja peralatan dengan kondisi yang masih baik dan mengacu terhadap histori pekerjaan yang telah berjalan yaitu 5 tahun

2. Suku Bunga Bank

Suku bunga bank pada periode berjalan berdasarkan suku bunga kredit Bank Negara Indonesia rata-rata bulan Januari – September 2016 yaitu sebesar 10,5%.

3. Asumsi Inflasi

Inflasi diasumsikan sebesar 5% per tahun. Didasarkan pada Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Kerja Anggaran (RKA) PT Indonesia Power.

4. Penentuan Peralatan dan Ketersediaan Peralatan

Penentuan peralatan mengacu asumsi bahwa air limbah bisa didaur ulang seluruhnya sehingga pembangkit PLTGU Grati tidak menghasilkan limbah cair. Unit yang didesain juga dibandingkan dengan unit daur ulang existing dan rencana pengembangannya sampai dengan 2016

4.5.1 Analisis Biaya

Dalam analisa ekonomi pengembangan unit daur ulang air limbah ini, biaya dibagi menjadi biaya investasi yang terdiri dari biaya pengadaan unit daur ulang, biaya pemeliharaan, biaya operasi dan penyusutan.

Biaya operasi terdiri dari biaya listrik, bahan kimia dan tenaga kerja. Biaya pemeliharaan terdiri dari biaya penggantian peralatan yang memiliki umur lebih kecil dari masa manfaat ekonomis. Biaya dari ketiga alternatif dapat dilihat pada tabel 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16.

4.5.1.1 Unit MMF Memproduksi Air Domestik

Tabel 4.13. Bahan Kimia WWTP dan MMF

No	Bahan Kimia	Konsumsi (kg)	Unit Price, Rp/Kg	Biaya Bahan Kimia, Rp/Tahun
	Effluent WWTP	71900		
	Service Water	71900		
	WWTP			
1	HCl	10,149	4235	42,982,183.47
2	NaOH	18,661	5263.5	98,221,738.49
3	Coagulant	11,683	11495	134,294,115.73
4	Coagulant Aid	840	24200	20,329,442.00
				295,827,479.69

Tabel 4.14. Perhitungan Biaya Listrik Pengembangan MMF 2 x 15 ton/jam

No	Nama Pompa	Daya Listrik KWH	Biaya Listrik Rp
1	Raw Water Pump	17,735.33	16,050,476.67
2	Raw Water Pump (backwash per 20jam)	1,776.00	1,607,280.00
3	Chemical Dosing Pump	47.93	43,379.67
4	Service Product Pump	7,190.00	6,506,950.00
	TOTAL HPP	26,749.27	24,208,086.33

Tabel 4.15. Perhitungan Biaya Listrik WWTP 30 Ton/jam

No	Nama Pompa	Daya Listrik KWH	Biaya Listrik Rp
1	Waste Water Storage Pond Pump	5,272.67	4,771,763.33
2	Storage Pond agitator blower	5,720.00	5,176,600.00
3	Unit Netralizing Pit Pump	8,987.50	8,133,687.50
4	Unit Netralizing Pit Blower	13,181.67	11,929,408.33
5	Oxydation Pit Mixer	886.77	802,523.83
6	Sediment Tank Driving Unit	359.50	325,347.50
7	Sludge Pump	114.40	103,532.00
8	Clear Water Pit Filter Pump	13,181.67	11,929,408.33
9	Filter Blower	2,288.00	2,070,640.00
10	Netralizing Pit Pump	26,363.33	23,858,816.67
11	Netralizing Pit Mixer	2,636.33	2,385,881.67
12	Sludge Enrichment Tank Driving Unit	15.60	14,118.00
13	Sludge Enrichment Tank Sludge Pump	114.40	103,532.00
14	Sludge Storage Pond Pump	114.40	103,532.00
15	Dilute HCl Pump	1,318.17	1,192,940.83
16	Dilute HCl Agitator	886.77	802,523.83
17	Dilute NaOH Pump	1,318.17	1,192,940.83

18	Dilute NaOH Agitator	886.77	802,523.83
19	Coagulant Pump	886.77	802,523.83
20	Coagulant Agitator	599.17	542,245.83
21	Coagulant Aid Pump	886.77	802,523.83
22	Coagulant Aid Agitator	886.77	802,523.83
23	Concetrated HCl transfer Pump	13.20	11,946.00
24	Concetrated NaOH transfer Pump	13.20	11,946.00
	TOTAL HPP	86,931.97	78,673,429.83

c. Biaya Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja	=	2	Orang
Biaya tenaga kerja	=	3,720,000	Rp/bulan
	=	89,280,000	Rp/tahun

4.5.1.2 Unit MMF dan RO Memproduksi Air Servis

Tabel 4.16. Biaya Bahan Kimia MMF-RO Pengembangan

No	Bahan Kimia	Konsumsi (kg)	Unit Price, Rp/Kg	Biaya Bahan Kimia, Rp/Tahun
		2018		
	Effluent WWTP (M3)	71900		
	Produksi RO (M3)	71900		
	Input RO (M3)	113228		
	WWTP			
1	HCl	10,149	4235	42,982,183.47
2	NaOH	18,661	5263.5	98,221,738.49
3	Coagulant	11,683	11495	134,294,115.73
4	Coagulant Aid	840	24200	20,329,442.00
	RO Unit			-
1	Sodium Hypochlorid	631	10043	6.340.010
2	Sodium Bisulfite	3788	26620	100.829.074
3	Antiscalant	868	75020	65.118.777
4	Alkaline Cleaning	771	101.640	78.372.571
	Acid Cleaning	915	101.640	93.037.736
				639,526,038

a. Biaya Listrik

Pada system MMF dan RO dibutuhkan daya listrik yang sama di banding system MMF dengan dilakukan perubahan aliran terhadap rejection RO tidak dimasukkan ke storage pond WWTP tetapi ke storage tank effluent WWTP untuk menghindari pengulangan proses. Total Pemakaian listrik untuk system

MMF+RO adalah sebesar 232.295,25 KWH dengan biaya Rp. 210.194.623,4 /tahun.

b. Biaya Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja	=	2	Orang
Biaya tenaga kerja	=	3,720,000	Rp/bulan
	=	89,280,000	Rp/tahun

4.5.1.3 Unit Existing RO Memproduksi Air Servis

Memanfaatkan RO unit yang sudah ada di PLTGU Grati dengan melakukan investasi storage tank untuk effluent WWTP sebesar 300 Ton perhari. Dengan potensi pemanfaatan sebesar 2400 ton/bulan. Penggunaan listrik dan bahan kimia WWTP dalam alternatif ini sama, hanya menggunakan RO existing sehingga tidak semua air limbah dimanfaatkan. Tabel 4.17 menunjukkan biaya operasi MMF-RO unit eksisting.

Tabel 4.17. Biaya Operasi MMF-RO Eksisting

No	Keterangan	WWTP	Existing RO	Biaya Rp.
1	Biaya Bahan Kimia	295,827,480	71,210,936	367.038.415
2	Biaya Listrik	78.673.430	68.895.840	147.569.269
3	Biaya Tenaga Kerja		44.640.000	44.640.000
	TOTAL HPP			

Penjelasan mengenai perbandingan antara MMF dan RO System adalah sebagai berikut:

- Biaya investasi di awal proyek adalah pengadaan MMF dan RO System baru.
- Biaya operasi adalah bahan kimia, listrik dan tenaga kerja.
- Biaya pemeliharaan diasumsikan 10% dari biaya investasi

Dari perhitungan biaya diatas didapatkan biaya total dalam pengembangan unit daur ulang air limbah seperti pada tabel 4.18.

Tabel 4.18. Total biaya Pengoperasian Setiap Alternatif

Parameter	Biaya (Rp/tahun)		
	MMF	MMF-RO	Existing RO
Investasi	Rp. 2.937,000,000	Rp 2,475,000,000	Rp. 1,300,000,000
Biaya Operasi	Rp. 487,988,995	Rp 939,166,900	Rp 559,247,686
- Biaya Kimia	Rp 295,827,479	Rp 639,526,037	Rp 367,038,416
- Biaya Listrik	Rp 102,881,516	Rp 210,360,863	Rp 147,569,270
- Biaya SDM	Rp 89,280,000	Rp 89,280,000	Rp 44,640,000
Biaya Pemeliharaan			
- Membran dan cartrigde	Rp 293,700,000	Rp 247.500,000	Rp 130,000,000

4.5.2 Analisis Pendapatan

4.5.2.1 Unit cost

Unit cost atau biaya produksi adalah biaya yang terjadi dalam produksi sebagai hubungan antara biaya dari penyediaan fasilitas dan volume produksi yang dihasilkan. Didalam kapasitas dari ketersediaan fasilitas, input tenaga kerja dan material yang dibutuhkan untuk memproduksi sejumlah tertentu variasi unit produk sesuai dengan volume output.

Setelah diketahuinya estimasi produksi tahunan dan total biaya operasi, pemeliharaan dan investasi alternatif pengembangan maka dapat diketahui biaya per unitnya, dimana terlihat pada Tabel 4.19 estimasi unit cost tahunan.

Tabel 4.19. Estimasi *Unit Cost* Pemanfaatan Air Limbah

Parameter	<i>Unit Cost</i> (Rp)		
	MMF	MMF-RO	Existing RO
Produksi	72.000 Ton	72.576 Ton	28.800 Ton
Biaya Operasi	Rp 487.988.995	Rp 939.166.900	Rp. 559.247.686
Biaya Pemeliharaan	Rp 293.700,000	Rp 247.500,000	Rp 130.000,000
Total Biaya	Rp. 781.688.995	Rp. 1.186.666.900	Rp. 689.247.686
Unit Cost	10.857 Rp/ton	16.351 Rp/ton	23.932 Rp/ton

Dari perhitungan pada Tabel 4.19 didapatkan hasil rata-rata unit cost sebelum eskalasi harga adalah sebagai berikut:

- 1) MMF dengan produksi air domestik F/F = Rp. 10.857/ton
- 2) MMF-RO dengan produksi air servis = Rp. 16.351/ton
- 3) Existing RO dengan produksi air servis = Rp. 23.932/ton

Biaya produksi air daur ulang yang paling tinggi adalah Existing RO. Harga operasi semua alternatif adalah biaya dari unit WWTP dan unit pengembangan. Pada Existing RO, biaya WWTP adalah total untuk semua air limbah padahal pemanfaatannya lebih kecil dari 50%. Apabila biaya operasi didasarkan pada kebutuhan desain inlet unit RO maka harga produksinya menjadi Rp. 12.798/ton.

4.6 Kriteria Keputusan Penganggaran Modal

Untuk memilih alternatif pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati dari sisi ekonomi dilakukan perhitungan beberapa parameter dengan hasil sebagai berikut :

4.6.1 Payback Period

Periode waktu yang diperlukan yang dinyatakan dalam tahun untuk mengembalikan biaya investasi awal, berdasarkan Tabel 4.18 biaya awal investasi berbeda-beda dimana biaya ini telah dapat dikembalikan berdasarkan pendapatan di setiap tahunnya sampai dengan tahun ke-5. Pendapatan tertinggi pertahun pada MMF-RO yang memproduksi air service, tetapi biaya pertahunnya juga tinggi. Payback period yang paling lama adalah MFO-RO existing dikarenakan kapasitasnya yang kecil sehingga hanya dapat mendaur ulang sedikit air limbah.

Manfaat dari unit MMF untuk kebutuhan air domestik dibandingkan dengan air servis dikarenakan letak PLTGU Grati yang jauh di akses oleh fasilitas PDAM, sehingga kebutuhan air domestik juga diperoleh dari air servis produksi unit desalination plant

Pendapatan pertahun pada tabel 4.20 diperoleh dari penghematan tidak beroperasinya unit desalination plant sebagai pengolah air di PLTGU Grati. Biaya operasi unit tersebut adalah sebesar Rp. 47.331/ton (Pronia PGT, 2016) menjadi pendapatan pada unit pengembangan daur ulang air limbah ini.

Tabel 4.20. Perbandingan Pendapatan Setiap Alternatif Terhadap Existing

Keterangan	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Produksi	Air Domestik	Air Service	Air Service
Volume	6000 ton/bulan	6048 ton/bulan	2400 ton/bulan
Harga Air	Rp 47.331/m3	Rp 47,331/m3	Rp 47,331/m3
Pendapatan pertahun	Rp 2.555.874.000	Rp 2.576.320.992	Rp 1.090.506.240

4.6.2 Net Present Value (NPV)

Nilai bersih saat ini (NPV) dari proposal investasi adalah sama dengan nilai saat sekarang dari arus kas bebas (free cash flow/FCF) dikurangi pengeluaran awal investasi. Nilai Net present value/NPV dari suatu proyek akan mengukur nilai bersih dari suatu proposal investasi pada periode saat sekarang. Kriterianya apabila $NPV \geq 0.0$; diterima dan semakin besar akan lebih baik selama masa ekonomis unit.

Berdasarkan tabel 4.21 didapatkan nilai net present value (NPV) terbesar pada MMF memproduksi air domestik. Hal ini disebabkan arus kas bebas tinggi dengan biaya operasi yang lebih rendah sampai dengan tahun ke-5 unit beroperasi.

Sedangkan NPV terendah pada unit MMF-RO Existing dikarenakan produksi yang rendah menyebabkan arus kas bebas rendah terhadap biaya operasi unit.

Tabel 4.21. Cost Benefit Analysis Alternatif Pengembangan Unit

Keterangan	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Pendapatan per tahun	Rp 2.555.874.000	Rp 2.576.320.992	Rp 1.090.506.240
Biaya	Rp 781.688.995	Rp 1.186.666.900	Rp 689.247.686
Payback Period	2,3 tahun	2,5 tahun	5,3 tahun
Net Present Value	Rp 2.591.053.832	Rp 1.886.135.993	Rp 67.932.902
IRR	41.4%	37.5%	-8.0%

NPV semakin besar adalah semakin baik, maka MMF air domestik lebih baik dibanding pengembangan yang lainnya.

4.6.3 Internal Rate Return (IRR)

Berdasarkan Tabel 4.21 didapatkan internal rate return tidak jauh berbeda antara system MMF dan system MMF RO. Yiatu suku bunga yang akan menyamakan jumlah nilai sekarang dari penerimaan yang diharapkan diterima (present value of future proceed) dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi. Sedangkan untuk existing RO memiliki nilai IRR yang rendah karena sebagian saja air limbah yang dimanfaatkan padahal melakukan investasi 1 unit storage pond.

Tingkat pengembalian internal (IRR) adalah merupakan keputusan penganggaran modal yang menggambarkan tingkat pengembalian suatu proyek peroleh, secara matematis, itu adalah *discount rate* yang dapat menyamakan nilai sekarang dari arus masuk dengan nilai sekarang dari arus keluar.

IRR kedua alternatif pengembangan sama-sama baik, dimana lebih tinggi dari discount rate BNI. Maka akan diambil keputusan dengan AHP oleh manajemen PLTGU Grati.

4.6.4 Analisis Sensitivitas

Setelah perhitungan mengenai analisis investasi telah dilakukan kemudian dilakukan analisis sensitivitas dengan menganalisis parameter-parameter perubah yang dapat mempengaruhi kelayakan investasi di masa mendatang. Parameter-parameter tersebut juga digunakan untuk mengetahui batas-batas kelayakan ekonomi payback period, NPV dan IRR

Parameter-parameter peubah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. kenaikan biaya operasi yaitu kenaikan harga listrik, bahan kimia dan tenaga kerja. Dengan nilai
2. Penurunan pendapatan dikarenakan penurunan produksi yang diakibatkan kondisi peralatan, produktivitas rendah, dan kualitas air umpan.

4.6.4.1 Analisis Sensitivitas Kenaikan Biaya Operasi

Perbandingan hanya dilakukan pada kedua alternatif pengembangan, karena RO existing sudah tidak bernilai ekonomis seperti pada pembahasan sebelumnya. Apabila dilakukan analisa sensitivitas dengan inflasi dan discount factor yang lebih tinggi, RO Existing menjadi sangat tidak ekonomi.

Kenaikan biaya operational disebabkan oleh banyak factor diantaranya:

1. Kenaikan harga membrane RO dengan jumlah yang banyak per cellnya, kenaikan harga bahan kimia karena kenaikan harga US\$.
2. Kenaikan harga listrik akibat kenaikan harga gas sebagai bahan bakar PLTGU atau penggantian gas alam menjadi bahan bakar solar.

Kenaikan biaya operasi sangat berpengaruh terhadap cost benefit analisis suatu proyek pengembangan. Hasil dari analisis sensitivitas terhadap kenaikan biaya operational terlihat pada Tabel 4.22.

Inflasi tertinggi 8,5% didasarkan pada rata-rata inflasi tahun 2013 dan 2014 yang tinggi sebesar 8,36% sedangkan 6,3% merupakan rata-rata inflasi tahun 2015. Discount factor didasarkan pada SBI tahun 2015 sebesar 11,3 % dan asumsi tertinggi sebesar 12,75%

Hasil analisa menunjukkan inflasi dan suku bunga bank yang tinggi tidak berpengaruh signifikan pada parameter investasi. Kedua alternatif memberikan hasil yang hampir sama dengan payback periode 3 tahun, IRR diatas 30% dan NPV diatas Rp. 1.205.216.936.

Tabel 4.22. Analisa Sensitivitas Kenaikan Biaya Operasi

Unit	Inflasi	Discount Factor	PP (bulan)	IRR (%)	NPV (Rp)
MMF Unit	6.3%	11.3%	32	36.7	2.193.532.860
MMF-RO			36	31.8	1.465.145.652
MMF Unit	8.5%	12.75%	34	35.1	1.906.332.475
MMF-RO			37	29.9	1.205.216.936

4.6.4.2 Analisis Sensitivitas Penurunan Produksi

Penurunan produksi akan mengurangi pendapatan (cash flow) pengembangan unit daur ulang ini. Penurunan produksi diantaranya disebabkan oleh :

1. Kualitas air umpan WWTP yang sering melebihi persyaratan untuk masuk ke unit pemanfaatan baik MMF atau MMF-RO seperti pH, hijau karena lumut dan kekeruhan yang tinggi.
2. Terjadi kerusakan pada membrane, sehingga tidak bisa beroperasi sesuai kapasitas desain. Atau pun *derating high pressure pump* sehingga produksi tidak optimal

Tabel 4.23. Analisa Sensitivitas Penurunan Pendapatan dengan inflasi 8,5% dan Discount Factor 12,75%

Unit	Penurunan Pendapatan	Payback Period (bulan)	IRR (%)	NPV (Rp)
MMF Unit	10%	38	27.5	1.227.979.421
MMF-RO		48	20.4	521.437.057
MMF Unit	20%	49	19.6	549.626.366
MMF-RO		> 5 th	10.2	(162.342.821)
MMF Unit	30%	> 5 th	11.1	(128.726.686)
MMF-RO		> 5 th	-1.1	(846.122.770)

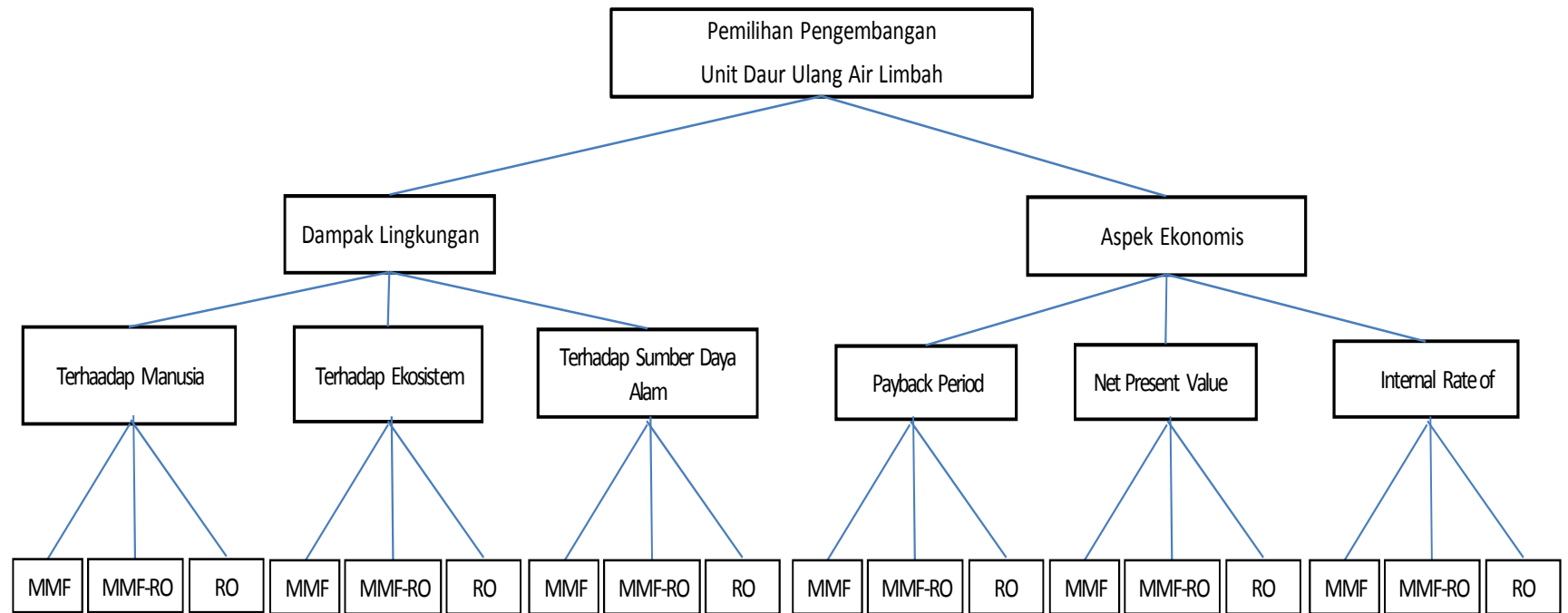
Hasil analisa sensitivas pada tabel 4.23 menunjukkan perubahan signifikan pada parameter investasi. Apabila terjadi penurunan produksi hingga 20%, maka hanya MMF unit saja yang masih ekonomis dilihat dari PP, IRR dan NPV. Apabila pendapatan menurun hingga 30%, kedua alternatif sudah tidak ekonomis.

4.7 Pemilihan Alternatif dengan AHP

Dilakukan *focus grup discussion* yang melibatkan manajemen PLTGU Grati oleh pegawai tingkat penyelia (supervisor, ahli madya) dan eksekutif (manajer dan ahli) seperti pada tabel 4.24. Dengan mempertimbangkan dampak lingkungan dan finansial dari alternatif yang dihasilkan, pembobotan dilakukan bersama-sama dengan diskusi terfokus dengan memberi bobot pada elemen-elemen berpasangan baik antar atribut maupun sub atribut.

Tabel 4.24. Jabatan dan Kompetensi Peserta *Focus Group Discussion*

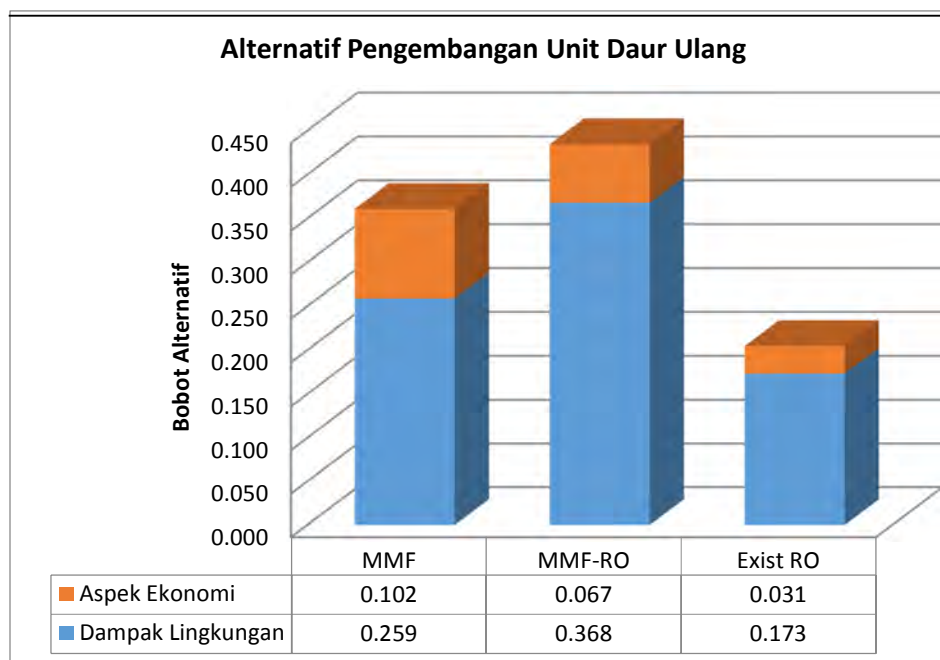
No.	Jabatan	Nama	Pendidikan	Kompetensi	Fungsi dan tanggung jawab
1	Manajer Operasi	Rahadi Santoso	S1 Teknik Elektro	Operasi, Pemeliharaan dan Engineering	Bertanggungjawab di bidang operasi dan membawahi lingkungan hidup, Ketua Tim PROPER yang memiliki dan mengusulkan anggaran terkait efisiensi sumber daya air dan energi.
2	Ahli Tata Kelola Pembangkit	Mila Tartiarini	S1 Teknik Kimia	Operasi dan Lingkungan	Ahli tata kelola proses di pembangkit termasuk diantaranya menjadi wakil ketua Tim PROPER. Berpengalaman pada bidang lingkungan sejak tahun 2005.
3	SPV Perencanaan Unit dan Kinerja	Awan Yudi Herlambang	S1 Teknik Mesin	Engineering dan Pemeliharaan	Bertanggung jawab pada investasi untuk peningkatan efisiensi termasuk kualitas lingkungan. Melakukan usulan anggaran investasi ke Kantor Pusat dan memastikan investasi bermanfaat secara finansial.
4	Ahli Madya K3, Kimia dan Lingkungan	Miftachun Nisa	S1 Teknik Kimia	Kimia, Lingkungan dan K3	Bertanggungjawab pada masalah dan kendala lingkungan pembangkit. Menjadi koordinator utama setiap kriteria PROPER dan berpengalaman pada bidang lingkungan sejak tahun 2008.
5	SPV Kimia, Energi Primer dan Material Operasi	Hadi Widodo	STM Mesin	Operasi, Engineering	Bertanggungjawab pada pengoperasian RO Existing baik pengadaan bahan kimia, <i>chemical cleaning</i> dan pengajuan pemeliharaan.



Gambar 4.10. Struktur Hierarki Keputusan Penentuan Alternatif Pemilihan Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah

Tabel 4.25. Penilaian AHP dari Atribut dan Sub Atribut

Atribut	Bobot	sub Atribut	Bobot Relatif Sub Atribut	Bobot Relatif Alternatif			
				MMF	MMF-RO	Exist	
DL	80.00%	KM	0.232	0.101	0.674	0.226	
		KL	0.584	0.416	0.458	0.126	
		SDA	0.184	0.311	0.196	0.493	
AE	20.00%	PP	0.413	0.443	0.387	0.169	
		NPV	0.260	0.594	0.249	0.157	
		IRR	0.327	0.528	0.333	0.140	
Sub Atribut	Bobot Absolut Sub Atribut	Bobot Absolut Alternatif			Bobot Absolut Alternatif %		
		MMF	MMF-RO	Exist	MMF	MMF-RO	Exist
KM	0.186	0.019	0.125	0.042	1.87%	12.51%	4.19%
KL	0.467	0.194	0.214	0.059	19.44%	21.40%	5.89%
SDA	0.147	0.046	0.029	0.073	4.58%	2.89%	7.26%
PP	0.083	0.037	0.032	0.014	3.66%	3.20%	1.40%
NPV	0.052	0.031	0.013	0.008	3.09%	1.29%	0.82%
IRR	0.065	0.035	0.022	0.009	3.45%	2.18%	0.92%
	Jumlah	36.09%	43.46%	20.47%	36.09%	43.46%	20.47%



Gambar 4.11. Grafik AHP Alternatif Pengembangan Unit Daur Ulang

Diskusi memberikan bobot tinggi pada dampak lingkungan (DL) sebesar 80% dimana lingkungan harus menjadi perhatian atau lebih penting dibanding tingkat keekonomian (AE) pengembangan unit yang hanya 20%. Hal ini juga didasarkan bahwa pengembangan unit daur ulang sebagai tindak lanjut *pilot project* sebelumnya sangat dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian air, dapat terukur dan divalidasi seperti pada tabel 4.25.

Dalam dampak lingkungan, sub atribut kualitas lingkungan (KL) memiliki bobot tertinggi sebesar 0,584 dibanding kesehatan manusia (KM) 0,232 dan sumber daya alam (SDA) 0,184. Apabila tidak terjadi pencemaran kelingkungan maka tidak akan mempengaruhi kualitas hidup masyarakat disekitar pembangkit.

Untuk aspek ekonomi payback period (PP) dinilai lebih penting sebesar 0,413 dibanding net present value (NPV) 0,26 dan internal rate of return (IRR) 0,327. Dalam investasi yang utama adalah berapa lama nilai investasi dapat kembali. Semakin cepat semakin baik.

Pada pembobotan relatif alternatif, MMF-RO merupakan alternatif yang paling baik untuk dapat mengolah air limbah secara maksimal dengan menjaga dampak lingkungan. Sedangkan MMF merupakan alternatif yang paling baik dalam aspek lingkungan karena memiliki biaya operasi yang paling rendah dengan nilai PP, NPV dan IRR terbaik.

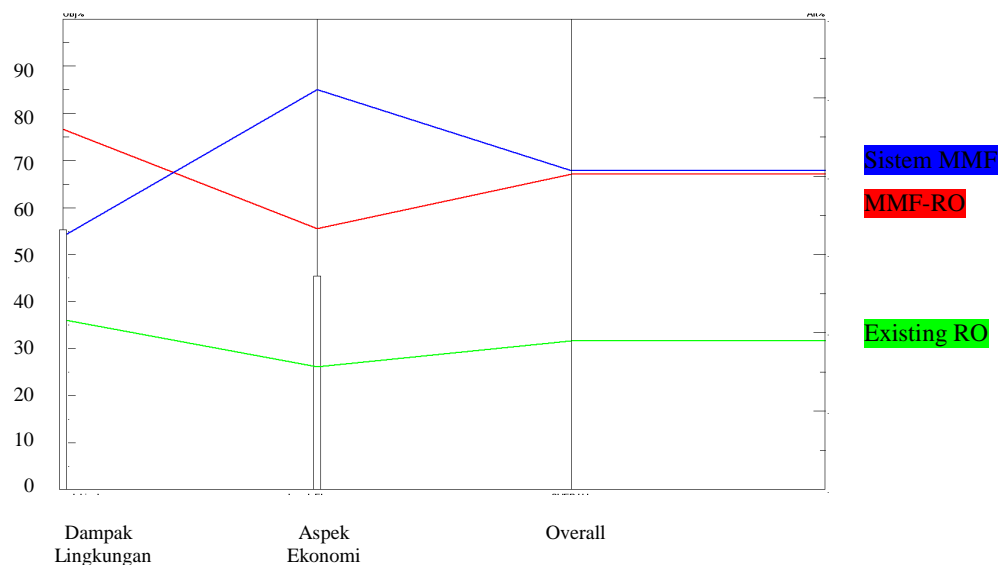
Penentuan unit pengembangan daur ulang air limbah di PLTGU Grati yang dipilih adalah system MMF-RO untuk memproduksi air servis. Unit ini sama seperti dengan *pilot project* yang sudah ada. Hal-hal yang menjadi pertimbangan walau dari sisi dampak lingkungan dan aspek ekonomi tidak lebih baik dari MMF yang memproduksi air domestik adalah :

1. *Pilot project* MMF-RO Existing dapat memberikan manfaat bagi operasi pembangkit.
2. Tidak memerlukan perubahan signifikan berupa pemisahan system air servis dan air domestik.

3. Aspek ekonomi tidak terlalu signifikan perbedaannya yang penting adalah perbaikan lingkungan karena tidak ada limbah yang terbuang ke lingkungan.
4. PROPER (Penghargaan dari Kementerian Lingkungan Hidup) memberikan penilaian lebih pada kegiatan 3R dengan NPV dan IRR yang rendah.

4.8 Analisa Sensitivitas Terhadap Perubahan Bobot Kriteria

Untuk mengetahui besar pengaruh dari keputusan alternatif, maka perlu dilakukan perubahan terhadap masing-masing kriteria dengan perubahan setiap 5%. Dengan adanya perubahan tersebut maka criteria yang lain akan menyesuaikan dengan menggunakan expert choice. Perubahan hanya dilakukan terhadap bobot salah satu atribut saja tanpa melakukan perubahan terhadap bobot sub atribut. Dengan melakukan perubahan sebesar 5% untuk dampak lingkungan menjadi 75%, otomatis bobot atribut aspek ekonomi menjadi 25% (untuk dua buah atribut).



Gambar 4.12. Sensitivitas Kinerja Pemilihan Unit Daur Ulang Air Limbah

Hasil dari analisa sensitifitas menunjukkan bahwa perubahan atribut criteria dampak lingkungan dan kriteria aspek ekonomi tidak merubah susunan prioritas keputusan alternatif sampai dengan perubahan bobot dari sebelumnya 20%.

Tetapi pada perubahan bobot dampak lingkungan mencapai 55% dan aspek ekonomi menjadi 45%, alternatif yang dipilih tidak lagi MMF-RO untuk air service tetapi Unit MMF untuk air domestik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kajian kelayakan lingkungan dengan *Life Cycle Assesment* dengan menggunakan simaPro 7.0 diperoleh hasil single score unit MMF memproduksi air domestik 0,1248 Pt, unit MMF-RO memproduksi air servis 0,2314 Pt dan unit RO Eksisting 0,2603 Pt. Dampak lingkungan yang terendah adalah alternatif unit MMF kapasitas 2 x 15 ton/jam.
2. Kajian kelayakan ekonomi dengan menghitung kriteria penganggaran modal yaitu *payback period* (PP), *net present value* (NPV), dan *internal rate of return* (IRR). Diperoleh hasil unit MMF untuk memproduksi air domestik dan unit MMF-RO untuk memproduksi air servis secara berurutan *payback periode* adalah selama 2,3 tahun dan 2,5 tahun. *Net Present Value* sebesar Rp. 2.591.053.832,- dan Rp. 1.886.135.993,- dengan tingkat pengembalian (IRR) sebesar 41,4% dan 37,5%. Eksisting RO tidak layak secara ekonomi dengan *payback periode* selama 5,3 tahun, *net present value* sebesar Rp 67.932.902,- dan tingkat pengembalian -8,0%. Sehingga yang layak secara ekonomi adalah unit MMF dan MMF-RO.
3. Diskusi kelompok terfokus dilakukan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* menggunakan *expert choice* dan tetap memperhatikan hasil kajian kelayakan lingkungan dan finansial. Diperoleh bobot penilaian 43,46% unit MMF-RO, unit MMF 36,09% dan unit eksisting RO 20,47%. Sehingga unit daur ulang MMF-RO memproduksi air servis menjadi alternatif yang dipilih dalam penelitian ini

5.2 SARAN

1. Input pada database SimaPro 7.0 perlu dilengkapi dengan pengukuran yang detail untuk meningkatkan ketelitian dalam analisa kelayakan ekonomi dengan LCA.
2. Perlu dilakukan FGD atau survey terkait atribut lain sebagai dasar untuk melakukan pemilihan alternatif selain dampak lingkungan dan aspek ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

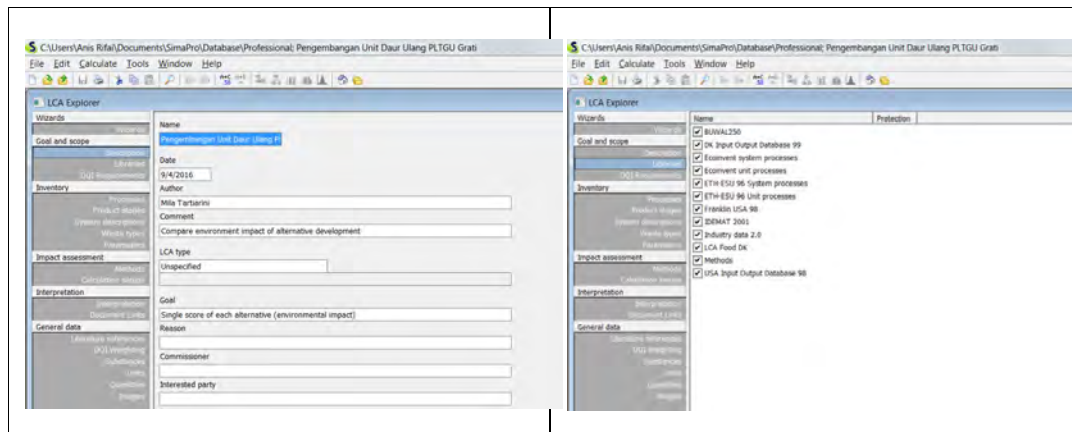
- Anderson J., (2003), “The Environmental Benefits of Water Recycling and Reuse”, *Water Science and Technology : Water Supply*, Vol 3 No 4 hal 1-10.
- Block B. Stanley, Hirt A. Geoffrey, (2002) “ Foundations of Financial Management”, McGraw-Hill Irwin, 10th edition
- Blank L, Tarquin A., (2012) “Engineering Economy”, McGraw-Hill Co, Ltd, 7th edition, Chap. 5
- Buyukkamaci (2013), “Life Cycle Assessment Applications in Wastewater Treatment”, *Pollution Effects & Control*, Turkey.
- Ciptomulyono U, Hajar D., (2008), “Metode Life Cycle Assesment dan Analytical Hierarchy Process untuk Pemilihan Alternatif Perbaikan Kinerja Lingkungan Produk Lampu Berbasis SimaPro-5”.
- Corominas Ll., Foley J., Guest JS., Hospido A., Larsen H.F., Morera S., Shaw A., (2013), “Life Cycle Assessment Applied to Waste Water Treatment : State of the Art”, *Water Research*, hal 1 - 13Guereca L.P., Musharrafie A., Martinez E., Padilla A., Morgan J.M., Noyola R.A., “A Comparative Life Cycle Assesment of A Waste Water Treatment Technology Considering Two Inflow Scale”.
- Diharjo Surono, (2014), “Analisis Investasi Proyek Pelaksanaan di Konsesi Penambangan Batubara”, Thesis Program Magister Manajemen Teknologi ITS, Manajemen Industri.
- Heimersson S., (2014), “Improved Life Cycle Assesment of Waste Water and Sludge Management With Resource Recovery”, Tesis, Chalmers University of Technology, Swedia
- ISO (International Organization for Standardization), (1997). ISO 14042. Environmental management – life cycle assessment – life cycle impact assessment; 2000
- Kamdi M.S., Bhalme S., Mude V., (2013), “Performance Evaluation of Effluent Treatment Plant for Thermal Power Plant”, *Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 3, hal 425-429.
- Kumar S., Katoria D., Sehgal D., (2013), “Environment Impact Assessment of Thermal Power Plant for Sustainable Development”, *International Journal of Environment Engineering and Management*, Vol 4 No. 6, hal 567 - 572.
- Lestari, R.L., (2013), “Life Cycle Assesment of Sugar from Sugarcane. A case study in Indonesia”, Tesis Master, Asian Institute of Technology, Thailand
- Machado A.P., Urbano L., Brito A.G., Janknecht P., Salas J.J., Nogueira R., (2007), “Life Cycle Assesment of Waste Water Options for Small and Decentralized Communities”, *Water Science & Technology*, Vol 56, No. 3, hal 15 - 22.

- Sound Resource Management Group Inc., (2009) “Environmental Life Cycle Assesment of Waste Management Strategies with a Zero Waste Objective”, Belkorp Environmental Services Inc., Vancouver.
- Smadi B.A., Zboon K.A., Azab T.A., (2010), “Water Management and Reuse Opportunities in Thermal Power Plant in Jordan”, *African Journal of Biotechnology*, Vol 9 No. 29, hal 4606-4614.
- Shen L., Wang H., Q J., Lian X., Sun H., (2008), “Study of The Technology of Raw Water Treatment for Power Plant Cooling System”, *Conference on Environmental Pollution and Public Health*.China.
- Tartiarini M., Annisawati Z.D., Nihayati N., (2014), “Pemanfaatan Effluent WWTP untuk Kebutuhan Air Service”, Forum Inovasi Indonesia Power.
- Xing M., (2010), “Study on The Water Conservation Management Measures in Thermal Power Plant”, *International Journal of Business and Management*, Vol 5 No. 3.

LAMPIRAN A

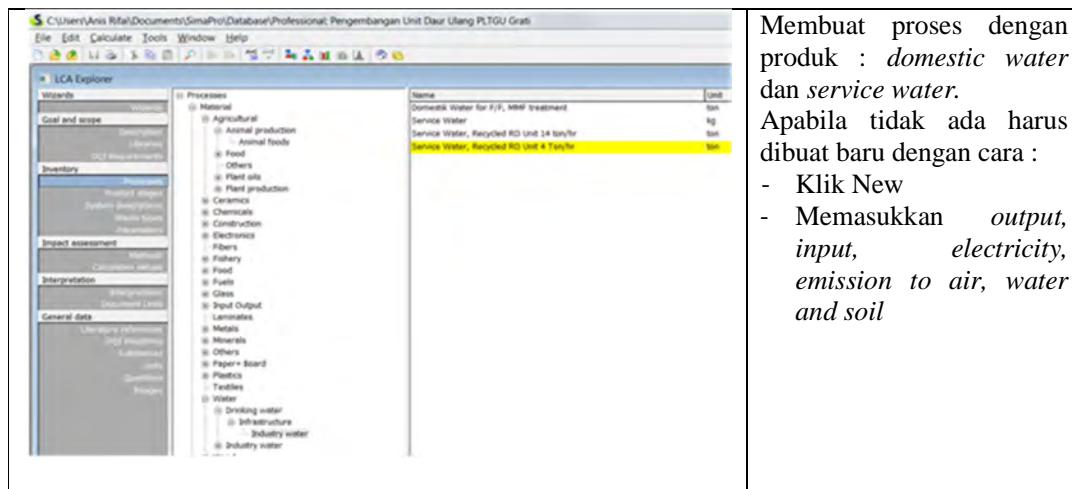
TAHAPAN SimaPro 7.0

1. Membuka program Simapro 7.0 yang sudah didownload. Membuat proyek baru dengan mengklik new. Beri nama sesuai dengan project : “Pengembangan Unit Daur Ulang”
2. Penentuan tujuan dan ruang lingkup proyek
Menu : Goal and Scope



Libraries dipilih semua sehingga semua data base disetiap metode bisa digunakan.

3. Penentuan proses dalam database
Menu : Inventory



Membuat proses dengan produk : *domestic water* dan *service water*.

Apabila tidak ada harus dibuat baru dengan cara :

- Klik New
- Memasukkan *output*, *input*, *electricity*, *emission to air*, *water* and *soil*

Products						
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category
Service Water, Recycled RO Unit 14 Ton/hr	71900	ton	Mass	100 %	not defined	Water/.../Industry water
(Insert line here)						
Known outputs to technosphere (avoided products)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
(Insert line here)						
Inputs						
Known inputs from nature (resources)						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
(Insert line here)						
Known inputs from technosphere (materials/fuels)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
Effluent WWTP	113229	ton	Undefined			
Sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant/NER U	633	kg	Undefined			
Sodium bisulfite 40%	3798	kg	Undefined			
Sodium Hexameta Phosphate 20%	879	kg	Undefined			
(Insert line here)						
Known inputs from technosphere (electricity/heat)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
Natural gas, burned in power plant/PLN U	143510.98	kWh	Undefined			
(Insert line here)						
Outputs						
Emissions to air						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
(Insert line here)						
Emissions to water						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
(Insert line here)						

Contoh untuk memproduksi *service water* dengan RO unit kapasitas 14 ton/jam.

Basis 1 tahun :
Jumlah produksi air servis
Effluent WWTP sebagai bahan baku
Bahan kimia yang digunakan
Listrik yang digunakan

Apabila material input tidak tersedia, maka dapat diperoleh dengan :

1. Membuat reaksi kimia
2. Mencari kesetaraannya

Untuk proses menghasilkan servis water dengan RO Eksisting , sama dengan RO kapasitas 14 ton/jam hanya saja ada perbedaan :

Jumlah input dan output
Pemakaian listrik
Ada waste water yang dibuang kelingkungan (emission to water) untuk effluent WWTP yang tidak bisa diolah.

Products						
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category
Service Water, Recycled RO Unit 4 Ton/hr	28800	ton	Mass	100 %	not defined	Water/.../Industry water
(Insert line here)						
Known outputs to technosphere (avoided products)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
(Insert line here)						
Inputs						
Known inputs from nature (resources)						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
(Insert line here)						
Known inputs from technosphere (materials/fuels)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
Effluent WWTP	48800	ton	Undefined			
Sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant/NER U	261	kg	Undefined			
Sodium bisulfite 40%	1566	kg	Undefined			
Sodium Hexameta Phosphate 20%	339	kg	Undefined			
(Insert line here)						
Known inputs from technosphere (electricity/heat)						
Name	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max	Comment
Natural gas, burned in power plant/PLN U	76128.00	kWh	Undefined			
(Insert line here)						
Outputs						
Emissions to air						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
(Insert line here)						
Emissions to water						
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2* Min	Max
Waste water/m3		25100	m3	Undefined		

4. Analisa profil lingkungan dari produk

Menu : Calculate - Analyze

Calculate			
General	Param	Method	Project
Name	Analyze	F8	
Comment	Compare	F9	
Calculation function	Uncertainty Analysis	F12	
Method	Specification per substance	Shift+F12	
	Specification per process	Ctrl+F12	
	Show Expression Results		
	Auto Update Expression Results		
	Update Expression Results	Alt+E	
	1 Analyze "Service Water, Re..."		
Product	Service Water, Recycled RO Unit 4 Ton/hr	1	ton
Switches	Exclude Infrastructure processes		
	Inventory per sub-compartment		
Monitor Carlo stop criterion	Fixed number of runs	1000	
	Use stop factor	0.005	
	Seed value	0	

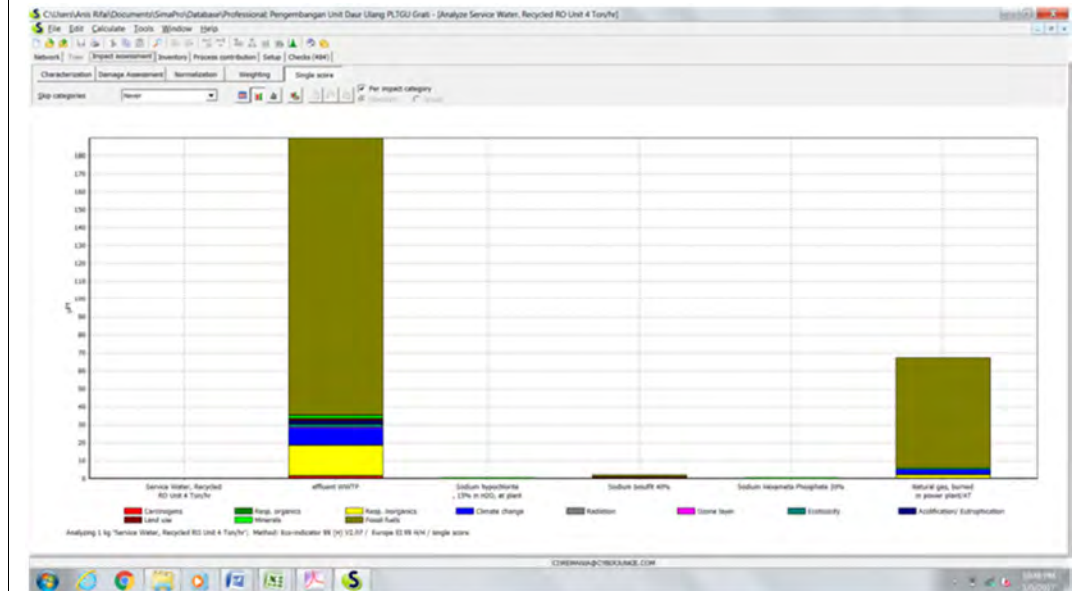
Pilih metode :

Product :

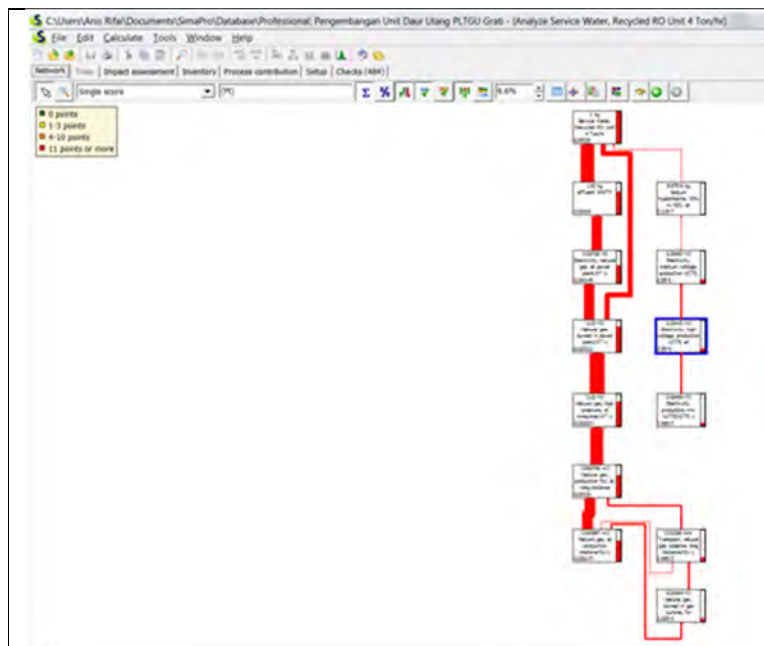
Service water dari RO kapasitas 4 ton/jam
Dengan basis 1 ton.

Impact assessment bisa dipilih dalam berbagai bentuk (kurva dan tabel).
Agar terstandarisasi dilakukan normalisasi dengan satuan yang sama (Pt)

Dipilih salah satu metode :
Untuk thesis ini menggunakan metode Eco-indicator 99 (H)



5. Membuat jaring proses



Bisa juga dipilih network atau struktur jaringan. Input yang dominan terhadap dampak akan memiliki warna lebih tebal.

6. Membandingkan antar produk/project dalam proses produksi

1. Unit MMF memproduksi air domestik

C:\Users\Anis Rifa\Documents\SimaPro\Database\Professional; Pengembangan Unit Daur Ulang PLTGU Grati - [Analyze Domestic Water for F/F, MMF treatment]

File Edit Calculate Tools Window Help

Network Tree Impact assessment Inventory Process contribution Setup Checks (411)

Characterization Damage Assessment Normalization Weighting Single score

Skip categories Never

Per impact category Standard Group

Impact category	Unit	Total	Domestic Water for F/F, MMF	effluent WWTP	Natural gas, burned in power
Total	Pt	0.125	0	0.117	0.00812
Caronogens	Pt	0.000933	0	0.00093	3.23E-6
Resp. organics	Pt	1.85E-5	0	1.79E-5	6.46E-7
Resp. inorganics	Pt	0.0107	0	0.0105	0.000231
Climate change	Pt	0.00621	0	0.00584	0.000373
Radiation	Pt	0.000118	0	0.000118	1.6E-7
Ozone layer	Pt	9.39E-6	0	9.13E-6	2.54E-7
Ecotoxicity	Pt	0.00117	0	0.00116	4.91E-6
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.00126	0	0.00121	4.69E-5
Land use	Pt	0.000685	0	0.000655	3.03E-5
Minerals	Pt	0.00118	0	0.00118	4.46E-6
Fossil fuels	Pt	0.103	0	0.0951	0.00743

Bisa juga dalam bentuk tabel sebagai berikut :

2. Unit RO 14 ton/jam memproksi air servis

C:\Users\Anis Rifa\Documents\SimaPro\Database\Professional; Pengembangan Unit Daur Ulang PLTGU Grati - [Analyze Service Water, Recycled RO Unit 14 ton/hr]

File Edit Calculate Tools Window Help

Network Tree Impact assessment Inventory Process contribution Setup Checks (484)

Characterization Damage Assessment Normalization Weighting Single score

Skip categories Never

Per impact category Standard Group

Impact category	Unit	Total	Service Water, Recycled RO	effluent WWTP	Sodium hypochlorite,	Sodium bisulfite 40%	Sodium Hexameta	Natural gas, burned in power
Total	Pt	0.231	0	0.184	0.000496	0.00207	0.000771	0.0443
Caronogens	Pt	0.00153	0	0.00146	1.5E-5	2.14E-5	8.88E-6	1.76E-5
Resp. organics	Pt	3.4E-5	0	2.81E-5	6.53E-8	1.71E-6	5.7E-7	3.52E-6
Resp. inorganics	Pt	0.0182	0	0.0165	0.0001	0.000206	0.00016	0.00126
Climate change	Pt	0.0114	0	0.00919	3.32E-5	0.0001	3.41E-5	0.00203
Radiation	Pt	0.000191	0	0.000185	1.87E-6	2.02E-6	1.34E-6	8.74E-7
Ozone layer	Pt	1.59E-5	0	1.44E-5	1.16E-8	7.28E-8	9.97E-8	1.38E-6
Ecotoxicity	Pt	0.00196	0	0.00183	2.29E-5	4.98E-5	2.36E-5	2.68E-5
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.00221	0	0.00191	9.79E-6	2.3E-5	1.57E-5	0.000256
Land use	Pt	0.00123	0	0.00103	8.87E-6	1.88E-5	9.58E-6	0.000165
Minerals	Pt	0.00196	0	0.00186	2.8E-5	3.63E-5	9.17E-6	2.43E-5
Fossil fuels	Pt	0.193	0	0.15	0.000276	0.00161	0.000468	0.0405

3. Unit RO 4 ton/jam memproduksi air servis

C:\Users\Anis Rifa\Documents\SimaPro\Database\Professional; Pengembangan Unit Daur Ulang PLTGU Grati - [Analyze Service Water, Recycled RO Unit 4 To

File Edit Calculate Tools Window Help

Network Tree Impact assessment Inventory Process contribution Setup Checks (484)

Characterization Damage Assessment Normalization Weighting Single score

Skip categories Never

Per impact category Standard Group

Impact category	Unit	Total	Service Water, Recycled RO	effluent WWTP	Sodium hypochlorite,	Sodium bisulfite 40%	Sodium Hexameta	Natural gas, burned in power
Total	Pt	0.26	0	0.19	0.00051	0.00213	0.000753	0.0472
Caronogens	Pt	0.00158	0	0.00151	1.54E-5	2.2E-5	9.14E-6	2.52E-5
Resp. organics	Pt	4.21E-5	0	2.9E-5	6.72E-8	1.76E-6	5.87E-7	1.04E-5
Resp. inorganics	Pt	0.0195	0	0.017	0.000103	0.000212	0.000165	0.00198
Climate change	Pt	0.0126	0	0.00949	3.42E-5	0.000103	3.51E-5	0.00297
Radiation	Pt	0.000197	0	0.000191	1.92E-6	2.08E-6	1.38E-6	7.16E-7
Ozone layer	Pt	1.84E-5	0	1.48E-5	1.2E-8	7.49E-8	1.03E-7	3.37E-6
Ecotoxicity	Pt	0.00203	0	0.00189	2.36E-5	5.13E-5	2.44E-5	4.12E-5
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.00237	0	0.00197	1.01E-5	2.37E-5	1.61E-5	0.000353
Land use	Pt	0.00133	0	0.00106	9.13E-6	1.94E-5	9.87E-6	0.000227
Minerals	Pt	0.00203	0	0.00192	2.89E-5	3.74E-5	9.45E-6	3.44E-5
Fossil fuels	Pt	0.219	0	0.155	0.000284	0.00166	0.000482	0.0616

LAMPIRAN B
DESAIN ALTERNATIF UNIT PENGEMBANGAN

I ASUMSI-ASUMSI atau INFORMASI YANG DIGUNAKAN

Keterangan	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Pretreatment (MMF) - Kapasitas (Ton/jam) - Masa Manfaat Ekonomis (tahun) - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%)	2 x 15 Ton/jam 5 tahun Ppn 10%	6.3 + 15 Ton/jam 5 tahun Ppn 10%	6.3 Ton/jam 5 tahun Unit Existing
RO Unit - Kapasitas (Ton/jam) - Masa Manfaat Ekonomis (tahun) - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%) - PS (kWh)	 26.749 kWh	14 Ton/jam 5 tahun Sudah Include 145510 kWh	4Ton/jam 5 Tahun Unit Existing 76.128 kWh
Tangki Service Water - Kapasitas (Ton) - Masa Manfaat Ekonomis (tahun) - PS (kWh) - Pajak (PPN, 10% & PPh, 2%)	600 Ton 25 - Ppn 10%	Eksisting 	300 Ton 25 - Ppn 10%
Volume Pemanfaatan	= 2 x 15 ton/jam x 20 jam = 600 ton/hari Operasi 10 kali/bulan = 6000 ton/bulan	= (10+4) ton/jam x 24 jam = 336 ton/hari Operasi 18 kali/bulan =6048 ton/bulan	= 4 ton/jam (+storage 300 ton) = 4 ton/jam x 600 jam = 2400 ton/bulan
Cash Out / Pengeluaran (/tahun)			
Investasi	Rp 2,937,000,000	Rp 2,475,000,000	Rp 1,300,000,000
Biaya Operasi	Rp 487,988,995	Rp 939,166,900	Rp 559,247,686
- Biaya Kimia	Rp 295,827,479	Rp 639,526,037	Rp 367,038,416
- Biaya Listrik	Rp 102,881,516	Rp 210,360,863	Rp 147,569,270
- Biaya SDM	Rp 89,280,000	Rp 89,280,000	Rp 44,640,000
Biaya Pemeliharaan	Rp -		
- Membran dan cartrigde	Rp 293,700,000	Rp 247,500,000	Rp 130,000,000

II HASIL KAJIAN FINANSIAL

Keterangan	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Produksi	Air Domestik	Air Service	Air Service
Volume	6000 ton/bulan	6048 ton/bulan	2400 ton/bulan
	Rp 72,000	Rp 72,576	Rp 28,800
Harga Air PDAM	Rp 47,331	Rp 47,331	Rp 47,331
Pendapatan pertahun	Rp 2,555,874,000	Rp 2,576,320,992	Rp 1,090,506,240
Produksi (Ton/tahun)	72,000	72,576	28,800
Biaya Operasi	Rp 487,988,995	Rp 939,166,900	Rp 559,247,686
Biaya Pemeliharaan	Rp 293,700,000	Rp 247,500,000	Rp 130,000,000
Total Biaya	Rp 781,688,995	Rp 1,186,666,900	Rp 689,247,686
Unit Cost (Rp/Ton)	10,857	16,351	23,932
Pendapatan per tahun	Rp 2,555,874,000	Rp 2,576,320,992	Rp 1,090,506,240
Biaya	Rp 781,688,995	Rp 1,186,666,900	Rp 689,247,686
Payback Period	2.3	2.5	5.3
Net Present Value	Rp 2,591,053,832	Rp 1,886,135,993	Rp 67,932,902
IRR	41.4%	37.5%	-8.0%

**NERACA MASSA, PEMAKAIAN BAHAN KIMIA DAN LISTRIK
MMF UNIT UNTUK MEMPRODUKSI AIR DOMESTIK**

asumsi					
Harga listrik	905 Rp/KWh	(HPP UPPGT April16 Jam Operasi			
Produksi RO 2018	71,900.00 m3/tahun	5,991.67	2,396.67	99.86	
Backwash per 20 jam operasi			119.83	hari	

Perhitungan Biaya Bahan Kimia

No	Bahan Kimia	konsumsi/ tahun	kg/m3	Konsumsi (kg)	Unit Price, Rp/Kg	Biaya Bahan
	Effluent WWTP	32,679.50		71900		
	Service Water	4,555.76		71900		
	WWTP					
1	HCl	4,612.98	0.14	10,149	4235	42,982,183.47
2	NaOH	8,481.63	0.26	18,661	5263.5	98,221,738.49
3	Coagulant	5,310.00	0.16	11,683	11495	134,294,115.73
4	Coagulant Aid	381.82	0.01	840	24200	20,329,442.00
						295,827,479.69
	RO Unit					-
	Sodium Hypochlorid	40.00	0.01	-	10043	-
	Sodium Bisulfite	240.00	0.03	-	26620	-
	Antiscalant	55.00	0.01	-	75020	-

Perhitungan Biaya Listrik Pengembangan MMF 2 x 15 ton/jam

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik	Biaya Listrik
				KWH	Rp
1	Raw Water Pump	3.7	2.00	17,735.33	16,050,476.67
2	Raw Water Pump (backwash per 20jam)	3.7	1.00	1,776.00	1,607,280.00
3	Chemical Dosing Pump	0.02	1.00	47.93	43,379.67
4	Service Product Pump	1.5	2.00	7,190.00	6,506,950.00
	TOTAL HPP		6.00	26,749.27	24,208,086.33

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik	Biaya Listrik
				KWH	Rp
1	Waste Water Storage Pond Pump	2.2	1.00	5,272.67	4,771,763.33
2	Storage Pond agitator blower	55	1.00	5,720.00	5,176,600.00
3	Unit Netralizing Pit Pump	3.75	1.00	8,987.50	8,133,687.50
4	Unit Netralizing Pit Blower	11	1.00	13,181.67	11,929,408.33
5	Oxydation Pit Mixer	0.37	1.00	886.77	802,523.83
6	Sediment Tank Driving Unit	0.15	1.00	359.50	325,347.50
7	Sludge Pump	1.1	1.00	114.40	103,532.00
8	Clear Water Pit Filter Pump	5.5	1.00	13,181.67	11,929,408.33
9	Filter Blower	22	1.00	2,288.00	2,070,640.00
10	Netralizing Pit Pump	11	1.00	26,363.33	23,858,816.67
11	Netralizing Pit Mixer	1.1	1.00	2,636.33	2,385,881.67
12	Sludge Enrichment Tank Driving Unit	0.15	1.00	15.60	14,118.00
13	Sludge Enrichment Tank Sludge Pump	1.1	1.00	114.40	103,532.00
14	Sludge Storage Pond Pump	2.2	1.00	114.40	103,532.00
15	Dilute HCl Pump	0.55	1.00	1,318.17	1,192,940.83
16	Dilute HCl Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
17	Dilute NaOH Pump	0.55	1.00	1,318.17	1,192,940.83
18	Dilute NaOH Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
19	Coagulant Pump	0.37	1.00	886.77	802,523.83
20	Coagulant Agitator	0.25	1.00	599.17	542,245.83
21	Coagulant Aid Pump	0.37	1.00	886.77	802,523.83
22	Coagulant Aid Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
23	Concetrated HCl transfer Pump	1.1	1.00	13.20	11,946.00
24	Concetrated NaOH transfer Pump	1.1	1.00	13.20	11,946.00
	TOTAL HPP		24.00	86,931.97	78,673,429.83

Volume effluent WWTP	71900.00 m3	
Flow	30.00 m3/jam	
Jam operasi	2396.67 jam	

Perhitungan Biaya Listrik WWTP 30 Ton/jam

Total Pemakaian Listrik	113,681.23 KWh
Biaya Pemakaian Listrik	102,881,516.17 Rp/th

**NERACA MASSA, PEMAKAIAN BAHAN KIMIA DAN LISTRIK
MMF-RO UNIT UNTUK MEMPRODUKSI AIR SERVIS**

asumsi
 Harga listrik 905 Rp/KWh (HPP UPPGT April1 Jam Operasi
 Produksi RO 2018 71,900.00 m3/tahun 5,991.67 5,135.71 213.99
 Chemical Cleaning m3/bulan jam 24 hari

Perhitungan Biaya Bahan Kimia

No	Bahan Kimia	konsumsi/tahun	konsumsi, kg/m3	Konsumsi (kg)	Unit Price, Rp/Kg	Biaya Bahan Kimia, Rp/Tahun
		2014		2018		
	Effluent WWTP (M3)	32,679.50		71900		
	Produksi RO (M3)	4,555.76		71900		
	Input RO (M3)	7,174.43		113228		
	WWTP					
1	HCl	4,612.98	0.14	10,149	4235	42,982,183
2	NaOH	8,481.63	0.26	18,661	5263.5	98,221,738
3	Coagulant	5,310.00	0.16	11,683	11495	134,294,116
4	Coagulant Aid	381.82	0.01	840	24200	20,329,442
	RO Unit					-
1	Sodium Hypochlorid	40.00	0.01	631	10043	6,340,010
2	Sodium Bisulfite	240.00	0.03	3,788	26620	100,829,074
3	Antiscalant	55.00	0.01	868	75020	65,118,777
	ALKALINE CLEANING PC 98	48.858	0.0068	771.08000	101640	78,372,571.20
	ACID CLEANING PC 77	58.00	0.0081	915.36537	101640	93,037,736.51
						639,526,037

Perhitungan Biaya Listrik Pengembangan RO = 10 ton/jam

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik	Biaya Listrik
				KWH	Rp
1	Raw Water Pump	3.7	1.00	19,002.14	17,196,939.29
2	High Pressure Pump	11	1.00	56,492.86	51,126,035.71
3	Chemical Dosing Pump	0.5	3.00	7,703.57	6,971,732.14
4	RO Cleaning Pump	4	1.00	96.00	86,880.00
5	RO Product Pump	1.5	1.00	7,703.57	6,971,732.14
	TOTAL HPP		7.00	90,998.14	82,353,319.29

Perhitungan Biaya Listrik Existing RO = 4 ton/jam

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik	Biaya Listrik
				KWH	
1	Raw Water Pump	1.5	1.00	7,703.57	6,971,732.14
2	High Pressure Pump	7.5	1.00	38,517.86	34,858,660.71
3	Chemical Dosing Pump	0.02	3.00	308.14	278,869.29
4	RO Cleaning Pump	4	1.00	96.00	86,880.00
5	RO Product Pump	1.5	1.00	7,703.57	6,971,732.14
	TOTAL HPP		7.00	54,329.14	49,167,874.29
				145,327.29	131,521,193.57

**NERACA MASSA, PEMAKAIAN BAHAN KIMIA DAN LISTRIK
MMF-RO UNIT EKSISTING UNTUK MEMPRODUKSI AIR SERVIS**

asumsi

Harga listrik	905 Rp/KWh	(HPP UPPGT April 1 Jam Operasi		
Produksi RO 2018	28,800.00 m3/tahun	2,400.00	7,200.00	300.00
Chemical Cleaning		m3/bulan	24 hari	
Operasi WWTP	71900 m3/tahun	5991.666667		

Perhitungan Biaya Bahan Kimia

No	Bahan Kimia	konsumsi/tahun	konsumsi, kg/m3	Konsumsi (kg)	Unit Price, Rp/Kg	Biaya Bahan Kimia, Rp/Tahun
		2014		2018		
	Effluent WWTP (M3)	32,679.50		71900		
	Produksi RO (M3)	4,555.76		28,800.00		
	Input RO (M3)	7,174.43		46,800.00		
	WWTP					
1	HCl	4,612.98	0.14	10,149	4235	42,982,183
2	NaOH	8,481.63	0.26	18,661	5263.5	98,221,738
3	Coagulant	5,310.00	0.16	11,683	11495	134,294,116
4	Coagulant Aid	381.82	0.01	840	24200	20,329,442
	RO Unit					-
1	Sodium Hypochlorid	40.00	0.01	261	10043	2,620,487
2	Sodium Bisulfite	240.00	0.03	1,566	26620	41,675,210
3	Antiscalant	55.00	0.01	359	75020	26,915,240
						367,038,416

Perhitungan Biaya Listrik Existing RO = 4 ton/jam

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik KWH	Biaya Listrik
1	Raw Water Pump	1.5	1.00	10,800.00	9,774,000.00
2	High Pressure Pump	7.5	1.00	54,000.00	48,870,000.00
3	Chemical Dosing Pump	0.02	3.00	432.00	390,960.00
4	RO Cleaning Pump	4	1.00	96.00	86,880.00
5	RO Product Pump	1.5	1.00	10,800.00	9,774,000.00
	TOTAL HPP		7.00	76,128.00	68,895,840.00

Perhitungan Biaya Listrik WWTP 30 Ton/jam

	86,931.97	78,673,429.83
Total Pemakaian Listrik	2,897.73	163,059.97 KWh
Biaya Pemakaian Listrik		147,569,269.83 Rp/th

Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Jumlah tenaga kerja	1 orang
Biaya tenaga kerja	3,720,000 Rp/bulan
	44,640,000 Rp/tahun

Biaya Listrik WWTP

No	Nama Pompa	Daya (KW)	JUMLAH	Daya Listrik	Biaya Listrik
				KWH	
1	Waste Water Storage Pond Pump	2.2	1.00	5,272.67	4,771,763.33
2	Storage Pond agitator blower	55	1.00	5,720.00	5,176,600.00
3	Unit Netralizing Pit Pump	3.75	1.00	8,987.50	8,133,687.50
4	Unit Netralizing Pit Blower	11	1.00	13,181.67	11,929,408.33
5	Oxydation Pit Mixer	0.37	1.00	886.77	802,523.83
6	Sediment Tank Driving Unit	0.15	1.00	359.50	325,347.50
7	Sludge Pump	1.1	1.00	114.40	103,532.00
8	Clear Water Pit Filter Pump	5.5	1.00	13,181.67	11,929,408.33
9	Filter Blower	22	1.00	2,288.00	2,070,640.00
10	Netralizing Pit Pump	11	1.00	26,363.33	23,858,816.67
11	Netralizing Pit Mixer	1.1	1.00	2,636.33	2,385,881.67
12	Sludge Enrichment Tank Driving Unit	0.15	1.00	15.60	14,118.00
13	Sludge Enrichment Tank Sludge Pump	1.1	1.00	114.40	103,532.00
14	Sludge Storage Pond Pump	2.2	1.00	114.40	103,532.00
15	Dilute HCl Pump	0.55	1.00	1,318.17	1,192,940.83
16	Dilute HCl Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
17	Dilute NaOH Pump	0.55	1.00	1,318.17	1,192,940.83
18	Dilute NaOH Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
19	Coagulant Pump	0.37	1.00	886.77	802,523.83
20	Coagulant Agitator	0.25	1.00	599.17	542,245.83
21	Coagulant Aid Pump	0.37	1.00	886.77	802,523.83
22	Coagulant Aid Agitator	0.37	1.00	886.77	802,523.83
23	Concetrated HCl transfer Pump	1.1	1.00	13.20	11,946.00
24	Concetrated NaOH transfer Pump	1.1	1.00	13.20	11,946.00
	TOTAL HPP		24.00	86,931.97	78,673,429.83

232,259.25 210,194,623.40

Volume effluent WWTP

71900.00 m3

Flow

30.00 m3/jam

Jam operasi

2396.67 jam

KAJIAN FINANSIAL
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF Unit Memproduksi Air Domestik PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

- 1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun) : 5 (berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
2 Suku Bunga (Discount Rate) : 10.50% (suku bunga bank periode berjalan)
3 Asumsi Inflasi : 5%

II. CASH OUT

1	Investasi	
	<i>a. Multi Media Filter Unit</i>	Rp 2,937,000,000
2	Biaya Operasi per tahun	
	<i>a. Biaya pemeliharaan</i>	: Rp 293,700,000
	<i>b. Biaya pengoperasian</i>	: Rp 487,988,995
	<i>e. Penyusutan</i>	: Rp 587,400,000
	Jumlah Biaya Operasi	: Rp 781,688,995

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

- 1 Opportunity pendapatan : Rp 2,555,874,000

Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 2,937,000,000					
Revenue		Rp 2,555,874,000	Rp 2,555,874,000	Rp 2,555,874,000	Rp 2,555,874,000	Rp 2,555,874,000
Biaya Operasi (Kas)		Rp 781,688,995	Rp 782,079,839	Rp 782,470,879	Rp 782,862,115	Rp 783,253,546
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000
Profit		Rp 1,186,785,005	Rp 1,186,394,161	Rp 1,186,003,121	Rp 1,185,611,885	Rp 1,185,220,454
PPH Badan 25%		Rp 296,696,251	Rp 296,598,540	Rp 296,500,780	Rp 296,402,971	Rp 296,305,114
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000	Rp 587,400,000
Cash Flow	Rp (2,937,000,000)	Rp 1,477,488,754	Rp 1,477,195,620	Rp 1,476,902,340	Rp 1,476,608,914	Rp 1,476,315,341
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.905	0.819	0.741	0.671	0.607
PV Cash Flow	Rp (2,937,000,000)	Rp 1,337,093,895	Rp 1,209,799,652	Rp 1,094,623,946	Rp 990,413,095	Rp 896,123,244

- PV Cash Out (Investasi) : Rp (2,937,000,000)
PV Cash In : Rp 5,528,053,832 (Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke n)
NPV : Rp 2,591,053,832 (PV Cash Out - PV Cash In)
IRR : 41.39%
Payback Period (PP) : Tahun ke 3 (Payback Period dari Cash Flow)
Discounted Payback Period : Tahun ke 1 (Payback period dari PV Cash Flow)
Kesimpulan : Layak

KAJIAN FINANSIAL
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF-RO Memproduksi Air Servis PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

- 1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun) : 5 (berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
2 Suku Bunga (Discount Rate) : 10.5% (suku bunga bank periode berjalan)
3 Asumsi Inflasi : 5%

II. CASH OUT

1 Investasi	
a. RO Unit with pretreatment	Rp 2,475,000,000
2 Biaya Operasi per tahun	
a. Biaya pemeliharaan	Rp 247,500,000
b. Biaya pengoperasian	Rp 939,166,900
e. Penyusutan	Rp 495,000,000
Jumlah Biaya Operasi	Rp 1,186,666,900

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

- 1 Opportunity pendapatan : Rp 2,576,320,992

(dalam Rupiah)

Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 2,475,000,000					
Revenue		Rp 2,576,320,992	Rp 2,576,320,992	Rp 2,576,320,992	Rp 2,576,320,992	Rp 2,576,320,992
Biaya Operasi (Kas)		Rp 1,186,666,900	Rp 1,187,260,233	Rp 1,187,853,864	Rp 1,188,447,790	Rp 1,189,042,014
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000
Profit		Rp 894,654,092	Rp 894,060,759	Rp 893,467,128	Rp 892,873,202	Rp 892,278,978
PPh Badan 25%		Rp 223,663,523	Rp 223,515,190	Rp 223,366,782	Rp 223,218,300	Rp 223,069,744
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000	Rp 495,000,000
Cash Flow	Rp (2,475,000,000)	Rp 1,165,990,569	Rp 1,165,545,569	Rp 1,165,100,346	Rp 1,164,654,901	Rp 1,164,209,233
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.905	0.819	0.741	0.671	0.607
PV Cash Flow	Rp (2,475,000,000)	Rp 1,055,195,085	Rp 954,563,231	Rp 863,528,145	Rp 781,174,659	Rp 706,674,872

- PV Cash Out (Investasi) : Rp (2,475,000,000)
PV Cash In : Rp 4,361,135,993 (Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke 5)
NPV : Rp 1,886,135,993 (PV Cash Out - PV Cash In)
IRR : 37.51%
Payback Period (PP) : Tahun ke 3 (Payback Period dari Cash Flow)
Kesimpulan : Layak

KAJIAN FINANSIAL
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF-RO Memproduksi Air Servis Eksisting PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun)	:	5 (berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
2 Suku Bunga (Discount Rate)	:	10.5% (suku bunga bank periode berjalan)
3 Asumsi Inflasi	:	5%

II. CASH OUT

1 Investasi		
<i>a. RO Unit with pretreatment</i>	: Rp	1,300,000,000
2 Biaya Operasi per tahun		
<i>a. Biaya pemeliharaan</i>	: Rp	130,000,000
<i>b. Biaya pengoperasian</i>	: Rp	559,247,686
<i>e. Penyusutan</i>	: Rp	260,000,000
Jumlah Biaya Operasi	: Rp	689,247,686

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

Opportunity pendapatan	: Rp	1,090,506,240
------------------------	------	---------------

(dalam Rupiah)

Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 1,300,000,000					
Revenue		Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240
Biaya Operasi (Kas)		Rp 689,247,686	Rp 689,592,310	Rp 689,937,106	Rp 690,282,075	Rp 690,627,216
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000
Profit		Rp 141,258,554	Rp 140,913,930	Rp 140,569,134	Rp 140,224,165	Rp 139,879,024
PPh Badan 25%		Rp 35,314,639	Rp 35,228,483	Rp 35,142,284	Rp 35,056,041	Rp 34,969,756
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000	Rp 260,000,000
Cash Flow	Rp (1,300,000,000)	Rp 365,943,916	Rp 365,685,448	Rp 365,426,851	Rp 365,168,124	Rp 364,909,268
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.905	0.819	0.741	0.671	0.607
PV Cash Flow	Rp (1,300,000,000)	Rp 331,170,964	Rp 299,490,549	Rp 270,840,509	Rp 244,930,996	Rp 221,499,884

PV Cash Out (Investasi)	: Rp	(1,300,000,000)
PV Cash In	: Rp	1,367,932,902 (Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke 5)
NPV	: Rp	67,932,902 (PV Cash Out - PV Cash In)
IRR	:	-8.03%
Payback Period (PP)	: Tahun ke 5	(Payback Period dari Cash Flow)
Kesimpulan	: Tidak Layak	

KAJIAN FINANSIAL - ANALISA SENSITIVITAS
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF Unit Memproduksi Air Domestik PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

- 1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun) : 5 (berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
 2 Suku Bunga (Discount Rate) : 12.75% (suku bunga bank periode berjalan)
 3 Asumsi Inflasi : 8.50%

II. CASH OUT

1	Investasi	
	<i>a. Multi Media Filter Unit</i>	Rp 3,186,645,000
2	Biaya Operasi per tahun	
	<i>a. Biaya pemeliharaan</i>	: Rp 318,664,500
	<i>b. Biaya pengoperasian</i>	: Rp 529,468,060
	<i>e. Penyusutan</i>	: Rp 637,329,000
	Jumlah Biaya Operasi	: Rp 848,132,560

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

- 1 Opportunity pendapatan : Rp 2,300,286,600

Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 3,186,645,000					
Revenue		Rp 2,300,286,600	Rp 2,300,286,600	Rp 2,300,286,600	Rp 2,300,286,600	Rp 2,300,286,600
Biaya Operasi (Kas)		Rp 848,132,560	Rp 848,853,472	Rp 849,574,998	Rp 850,297,136	Rp 851,019,889
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000
Profit		Rp 814,825,040	Rp 814,104,128	Rp 813,382,602	Rp 812,660,464	Rp 811,937,711
PPH Badan 25%		Rp 203,706,260	Rp 203,526,032	Rp 203,345,651	Rp 203,165,116	Rp 202,984,428
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000	Rp 637,329,000
Cash Flow	Rp (3,186,645,000)	Rp 1,248,447,780	Rp 1,247,907,096	Rp 1,247,365,952	Rp 1,246,824,348	Rp 1,246,282,283
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.887	0.787	0.698	0.619	0.549
PV Cash Flow	Rp (3,186,645,000)	Rp 1,107,270,759	Rp 981,633,007	Rp 870,250,404	Rp 771,505,581	Rp 683,964,669

Rp 2,959,154,170 72,520,867.02

- PV Cash Out (Investasi) : Rp (3,186,645,000)
 PV Cash In : Rp 4,414,624,421 (Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke n)
 NPV : Rp 1,227,979,421 (PV Cash Out - PV Cash In)
 IRR : 27.56%
 Payback Period (PP) : Tahun ke 3 (Payback Period dari Cash Flow)
 Discounted Payback Period : Tahun ke 1 (Payback period dari PV Cash Flow)
 Kesimpulan : Layak

KAJIAN FINANSIAL - ANALISA SENSITIVITAS
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF-RO Memproduksi Air Service PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun)	:	5	(berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
2 Suku Bunga (Discount Rate)	:	12.8%	(suku bunga bank periode berjalan)
3 Asumsi Inflasi	:	9%	

II. CASH OUT

1 Investasi		
<i>a. RO Unit with pretreatment</i>	:	Rp 2,685,375,000
2 Biaya Operasi per tahun		
<i>a. Biaya pemeliharaan</i>	:	Rp 268,537,500
<i>b. Biaya pengoperasian</i>	:	Rp 1,018,996,087
<i>e. Penyusutan</i>	:	Rp 537,075,000
Jumlah Biaya Operasi	:	Rp 1,287,533,587

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

1 Opportunity pendapatan	:	Rp 2,318,688,893
--------------------------	---	------------------

(dalam Rupiah)						
Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 2,685,375,000					
Revenue		Rp 2,318,688,893	Rp 2,318,688,893	Rp 2,318,688,893	Rp 2,318,688,893	Rp 2,318,688,893
Biaya Operasi (Kas)		Rp 1,287,533,587	Rp 1,288,627,990	Rp 1,289,723,324	Rp 1,290,819,589	Rp 1,291,916,785
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000
Profit		Rp 494,080,306	Rp 492,985,903	Rp 491,890,569	Rp 490,794,304	Rp 489,697,107
PPh Badan 25%		Rp 123,520,077	Rp 123,246,476	Rp 122,972,642	Rp 122,698,576	Rp 122,424,277
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000	Rp 537,075,000
Cash Flow	Rp (2,685,375,000)	Rp 907,635,230	Rp 906,814,427	Rp 905,992,927	Rp 905,170,728	Rp 904,347,831
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.887	0.787	0.698	0.619	0.549
PV Cash Flow	Rp (2,685,375,000)	Rp 804,997,986	Rp 713,321,509	Rp 632,084,521	Rp 560,098,357	Rp 496,309,683
					Rp 2,710,502,374	

PV Cash Out (Investasi)	:	Rp (2,685,375,000)	
PV Cash In	:	Rp 3,206,812,057	(Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke 5)
NPV	:	Rp 521,437,057	(PV Cash Out - PV Cash In)
IRR	:	20.42%	
Payback Period (PP)	:	Tahun ke 3	(Payback Period dari Cash Flow)
Kesimpulan	:	Layak	

KAJIAN FINANSIAL - ANALISA SENSITIVITAS
Pendekatan Ekonomi Teknik "MMF-RO Eksisting Memproduksi Air Servis PLTGU Grati"
(memperhitungkan nilai waktu uang)

I. ASUMSI-ASUMSI

1 Masa Manfaat Ekonomis (Tahun)	:	5	(berdasar SK PLN No.059-1K/DIR/2005 tentang Perubahan Masa Manfaat AT)
2 Suku Bunga (Discount Rate)	:	12.8%	(suku bunga bank periode berjalan)
3 Asumsi Inflasi	:	9%	

II. CASH OUT

1 Investasi		
<i>a. RO Unit with pretreatment</i>	:	Rp 1,410,500,000
2 Biaya Operasi per tahun		
<i>a. Biaya pemeliharaan</i>	:	Rp 141,050,000
<i>b. Biaya pengoperasian</i>	:	Rp 606,783,739
<i>e. Penyusutan</i>	:	Rp 282,100,000
Jumlah Biaya Operasi	:	Rp 747,833,739

(Jika asumsi inflasi dimasukkan maka pada tahun ke 2 s/d n perlu adanya eskalasi dari nilai tsb)

III. CASH IN

Opportunity pendapatan	:	Rp 1,090,506,240
------------------------	---	------------------

(dalam Rupiah)						
Tahun	0	1	2	3	4	5
Investasi	Rp 1,410,500,000					
Revenue		Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240	Rp 1,090,506,240
Biaya Operasi (Kas)		Rp 747,833,739	Rp 748,469,398	Rp 749,105,597	Rp 749,742,337	Rp 750,379,618
Biaya Operasi (Non Kas / Penyusutan)		Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000
Profit		Rp 60,572,501	Rp 59,936,842	Rp 59,300,643	Rp 58,663,903	Rp 58,026,622
PPh Badan 25%		Rp 15,143,125	Rp 14,984,211	Rp 14,825,161	Rp 14,665,976	Rp 14,506,656
Biaya non cash (depresiasi/amortisasi)		Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000	Rp 282,100,000
Cash Flow	Rp (1,410,500,000)	Rp 327,529,376	Rp 327,052,632	Rp 326,575,482	Rp 326,097,927	Rp 325,619,967
Suku Bunga (Discount Rate)	1.000	0.887	0.787	0.698	0.619	0.549
PV Cash Flow	Rp (1,410,500,000)	Rp 290,491,686	Rp 257,267,275	Rp 227,842,074	Rp 201,781,728	Rp 178,701,532

PV Cash Out (Investasi)	:	Rp (1,410,500,000)	
PV Cash In	:	Rp 1,156,084,294	(Discount rate, penjumlahan Cash In tahun ke 1 s/d tahun ke 5)
NPV	:	Rp (254,415,706)	(PV Cash Out - PV Cash In)
IRR	:	-16.17%	
Payback Period (PP)	:	Tahun ke 5	(Payback Period dari Cash Flow)
Kesimpulan	:	Tidak Layak	

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C
PENAWARAN DESAIN DAN HARGA

REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

PROPOSAL (Rev -00)

FOR
UNIT REVERSE OSMOSIS SYSTEM
With Permeate Cap. 12 M³/Hr

AT

PT. INDONESIA POWER.
Grati - Pasuruan

Bima Sudigdo
PT. TIRTA SEMESTA ENGINEERING – Water Treatment Contractor
Puri Surya Jaya, RWU Athena H3-61
Gedangan, Sidoarjo
Telp. 031-8014587, Fax. 031-8014611
Email : bima@tirta-engineering.com

Authorized distributor for :



REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

SYSTEM OUTLINE

This specification covers the requirements for the design and supply of reverse osmosis plant.

The Plant consist of :

- Raw Water Pump Cap. 20 M³/Hr
- MMF Filter With Cap. 20 M³/Hr
- R/O Module with permeate capacity 12 M³/h
- Product Tank With Cap. 11 M³
- Chemical Dosing system
- CIP Unit

We propose 1 Pass RO with recovery min 60 % for the PASS I, there are 4 unit vessel with 4 membranes/vessel. Total 16 membrane.

RO also is equipped with the cleaning kits in package. The cleaning kits need to clean when the flow of permeate drop 15 % or any increasing in pressure for around 15 %.

SECTION 2 – DESIGN BASIS

2.1 FEED WATER CONDITION

Flow 18 - 20 m³/h

FEED WATER QUALITY

Source	Effluent WWTP	
Conductivity	< 600	µS/cm
Calcium Hardness	< 80	ppm CaCO ₃
Total Hardness	< 160	ppm CaCO ₃
Silica	< 50	ppm SiO ₂
pH	6.5 – 8.5	ppm Fe
Turbidity	2	NTU

REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

TREATED WATER CHARACTERISTICS

Permeate Flow	12	m ³ /h
Conductivity	< 50	µS/cm
pH	6 - 8	

SECTION 3 – EQUIPMENT SPECIFICATION

3.1 RAW WATER PUMP

Quantity	1 unit
Type	Vertical End Suction
Maker	CNP/equal
Flowrate	20 m ³ /hr
Discharge head	40 meter
Material Impeller	Stainless Steel 304
Power	4.0 KW, 380 V/3phase/50 Hz/2950 rpm

3.2 MULTI MEDIA FILTER

Quantity	1 unit
Capacity	20 M ³ /jam
Diameter	1200 mm
Height	1800 mm
Material	MS Plate 8.0 mm with epoxy inside
Media	Silica Sand, Gravel, Anthracite.
Piping	Pipa PVC AW dia 2.5"
Accessories	2 Unit Manhole 2 Unit Pressure Gauge 1 Unit Venting
Valve	Butterfly Valve c/w Pneumatic Actuator dia 2.5"
Valve Brand	Ball Matic
Backwash model	Automatic Backwashing

REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

3.3 **BWRO MODULE**

PRE FILTER (CARTRIDGE FILTER)

Quantity	1 sets
Type	Cartridge 5 micron
Service flow rate	18 - 20 m ³ /hr
Material of construction	SS304 Housing

HIGH PRESSURE PUMP

Quantity	1 set
Type	Vertical end suction
Make	CNP
Flowrate	20 m ³ /hr
Discharge head	130 m
Material	Stainless Steel
Motor	15 kW, 380V/3ph/50Hz/2950 rpm

REVERSE OSMOSIS MODULE

Quantity	1 sets
Recovery	min 60%
Permeate	12 m ³ /hr
Housing	Firstline dia 8" – 4 membran
Pressure rating	300 psi (20.6 bars)
Total Housing quantity	4 pcs
Membrane quantity	16 membranes
Membrane specification	
Make	Dow Filmtech BW 30-400
Size	8" x 40"
Type	Spiral wound
Salt Rejection	95 % minimum
Maximum applied pressure	600 psig (4.16 Mpa)
Maximum chlorine concentration	< 0.1 ppm
Maximum operating temperature	45°C
Maximum feed water turbidity	1 NTU
Maximum feed water SDI	3
Feed water pH range	3 – 10
Accessories	- Rotameter x 2 nos - Pressure gauge x 3 nos - Conductivity meter x 1 no

REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

3.4 PRODUCT TANK

Quantity	1 unit
Capacity	11 M ³
Material	HDPE
Brand	Penguin/Profile

3.5 CHEMICAL DOSING UNIT

Quantity	4 sets
Chemical	oxidant pH control – HCl SMBS antiscalant

DOSING TANK

Quantity	4 no
Type	Vertical, cylindrical
Capacity	225 litres
Material	PE

DOSING PUMP

Quantity	4 no
Type	Solenoid drive diaphragm, manual adjustment
Make	Tacmina
Flowrate	4 l/h

3.6 RO CLEANING UNIT

RO CLEANING TANK

Quantity	1 no
Type	Vertical, cylindrical
Capacity	1500 litres
Material	HDPE

FEED PUMP

Quantity	1 unit
Type	Vertical End Suction
Maker	CNP
Flowrate	20 m ³ /hr
Discharge head	40 meter

REVERSE OSMOSIS SYSTEM With Cap. 12 M³/Hour

Material	Stainless Steel
Motor	4.0 KW,380 V/3phase/50 Hz/2950 rpm

CARTRIDGE FILTER CIP

Quantity	1 sets
Type	Cartridge 5 micron
Service flowrate	20 m ³ /hr
Material of construction	SS304 Housing

3.7 PIPING AND VALVE

Quantity	1 lot
Material	U-PVC Sch 80 for High Pressure PVC AW for low pressure line
Main Size	2.5 "

3.8 CONTROL PANEL AND PLC PROGRAM

Quantity	1 no
Type	Indoor
Access	Front
Material	Mild steel with oven baked epoxy finish
Supply voltage	380V/50Hz/3ph/4 wire
Control supply	230V/50Hz/1ph

The control panel will be located at panel room whereas the local panel will be located near the equipment.

The control panel shall comprise of following

- One (1) no main circuit breaker with indicating light
- One (1) lot motor starter, each consist of isolating switch, contactor, thermal overload relay, selector switch, and indicating lamps

OPTIONAL 3

PROPOSAL (Rev -00)

FOR

WATER TREATMENT PLANT
With CAPACITY 2 x 15 M³/HOUR

AT

PT. INDONESIA POWER
GRATI

Bima Sudigdo
Mobile : 0811371411
PT. TIRTA SEMESTA ENGINEERING – Water Treatment Contractor
Puri Surya Jaya, RWU Athena H3-61
Gedangan, Sidoarjo
Telp. 031-8014587, Fax. 031-8014611
Email : bima@tirta-engineering.com

15 JULI 2016

Authorized distributor for :



WATER TREATMENT PLANT – 2 x 15 M³/H

SECTION 3 - EQUIPMENT SPECIFICATION

3.1 RAW WATER PUMP

Quantity	2 unit
Type	Centrifugal Pump
Maker	Ebara
Flowrate	2 x 15 m ³ /hr
Discharge head	40 meter
Material	Cast Iron
Motor	3.7 KW, 380 V/3phase/50 Hz/2950 rpm
Motor Brand	TECO/Siemens

3.2 MMF FILTER

Quantity	2 unit
Capacity	2 x 15 M ³ /hr
Type	Cylindrical Vertical Pressure Vessel
Operation	Automatic with PLC

Pressure Vessel

Diameter	1200 mm
Height	2000 mm
Material	Carbon steel with Epoxy coating
Thickness	Shell 6 mm
	Bottom head 8 mm
	Top Head 8 mm
Operating Pressure	4 Barg
Test Pressure	6 Barg
Pipe Connection	Pipa PVC AW dia 2.5"
Strainer	0.1 mm PP Nozzles

Media

Filter Media	Fine Silica Sand and Gravel
--------------	-----------------------------

Valve

Type	Pneumatic Butterfly Valve
Diameter	2.5"

Pipe & Fitting

Material	Pipa PVC AW dia 2.5"
----------	----------------------

Accessories

Man Hole	Dia 400 mm x 1 unit
----------	---------------------

WATER TREATMENT PLANT – 2 x 15 M³/H

Hand Hole	Dia 250 mm x 1 unit
Air Venting	dia ¾ " x 1 unit
Pressure Gauge	dia 4", dial 0-6 Barg Ex WIKA c/w Ball Valve x 2 pcs
Sampling point	1 pcs c/w Ball Valve da ½"

3.3 CARBON FILTER

Quantity	2 unit
Capacity	2 x 15 M ³ /hr
Type	Cylindrical Vertical Pressure Vessel
Operation	Automatic with PLC

Pressure Vessel

Diameter	1200 mm
Height	2000 mm
Material	Carbon steel with Epoxy coating
Thickness	Shell 6 mm Bottom head 6 mm Top Head 6 mm
Operating Pressure	4 Barg
Test Pressure	6 Barg
Pipe Connection	Pipa PVC AW dia 2.5"
Strainer	0.1 mm PP Nozzles

Media

Filter Media	Activated Carbon
--------------	------------------

Valve

Type	Pneumatic Butterfly Valve
Diameter	2.5"

Pipe & Fitting

Material	Pipa PVC AW dia 2.5"
----------	----------------------

Accessories

Man Hole	Dia 400 mm x 1 unit
Hand Hole	Dia 250 mm x 1 unit
Air Venting	dia ¾ " x 1 unit
Pressure Gauge	dia 4", dial 0-6 Barg Ex WIKA c/w Ball Valve x 2 pcs
Sampling point	1 pcs c/w Ball Valve da ½"

WATER TREATMENT PLANT – 2 x 15 M³/H

3.4 PRODUCT WATER TANK

Capacity	10 M3
Material	HDPE

3.5 TRANSFER PUMP

Quantity	2 unit
Type	Vertical End Suction
Maker	Grundfos CR Series
Flowrate	15 m3/hr
Discharge head	20 meter
Material	Stainless Steel
Motor	1.1 KW,380 V/3phase/50 Hz/2950 rpm

3.6 CHEMICAL DOSING UNIT

Quantity	1 sets
Chemical	Biocide Chlorine

DOSING TANK

Quantity	1 no
Type	Vertical, cylindrical
Capacity	225 litres
Material	PE

DOSING PUMP

Quantity	1 no
Type	Solenoid drive diaphragm, manual adjustment
Make	Tacmina
Flowrate	4 l/h

3.7 PIPING AND VALVE

Quantity	1 lot
Material	PVC Sch 80 for High Pressure PVC AW for low pressure line
Main Size	2.5"

WATER TREATMENT PLANT – 2 x 15 M³/H

3.8 CONTROL PANEL

Quantity	1 no
Type	Indoor
Access	Front
Material	Mild steel with oven baked epoxy finish
Supply voltage	380V/50Hz/3ph/4 wire

The control panel will be located at panel room whereas the local panel will be located near the equipment.

The control panel shall comprise of following

- One (1) no main circuit breaker with indicating light
- One (1) lot motor starter, each consist of isolating switch, contactor, thermal overload relay, selector switch, and indicating lamps

SECTION 4 – SCOPE OF WORK

	Description	Vendor	Customer
4.1.	Design and engineering		
	Mechanical/basic	x	
	Mechanical/detail	x	
	Electrical/basic	x	
	Electrical/detail	x	
	Civil/basic (loading data)	x	
	Civil/detail	x	
4.2	Shop Fabrication and Assembling	x	
4.3	Installation	x	
4.4	Civil Work	x	

SECTION 5 – SCOPE OF SUPPLY

5.1	Equipment	x
5.2	Pipe	
	Connection Pipes	x
	Bolt & Nuts, and Gasket	x
5.3	Instrumentation	
	Control Panel	x
	Local Instrument	x
	Control Cable	x

“halaman ini sengaja dikosongkan”

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D
ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

FORM SURVEY THESIS

Nomor :

Lamp : 1 Set Kuisisioner

Hal : Pengisian Kuisisioner

Dengan hormat,

Sehubungan dengan penelitian (thesis) yang sedang saya lakukan berjudul:

“Implementasi Metode Life Cycle Assesment (LCA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk Penentuan Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah di PLTGU Grati – PT Indonesia Power UP Perka Grati”

maka saya:

Nama : Mila Tartiarini

NRP : 9114201503

Jurusan : Program Pasca Sarjana (S-2) MMT-ITS Surabaya

Mohon bantuan kerjasama bapak/Ibu selaku personil yang berkompeten dalam bidang Lingkungan untuk bisa meluangkan waktu dan tenaga guna memberikan masukan/pendapat pada kuisisioner yang saya butuhkan untuk melengkapi bahan thesis kami. Kami akan menjamin kerahasiaan identitas dan jawaban bapak/ibu hanya untuk kepentingan akademis.

Pada penelitian ini bertujuan untuk memilih jenis pengembangan unit daur ulang air limbah PLTGU Grati yang sesuai dengan adanya potensi peningkatan air limbah dari proyek baru.

Sebelumnya kami mengucapkan banyak terima kasih atas kesediaan bapak/ibu yang telah bersedia meluangkan waktu untuk mengisi kuisisioner kami.

1. Nama :
2. Jabatan pada perusahaan :
3. Tanggal :
4. Tanda tangan Pengisi Angket :

AHP adalah metode yang digunakan untuk memilih alternative dengan pengisian kuesioner atau focus group discussion terhadap atribut dan sub atribut. Penilaian dengan perbandingan berpasangan antar atribut dan sub atribut.

A. Alternatif Pengembangan Unit

1. Sistem MMF menghasilkan air domestik
2. Sistem RO-MMF menghasilkan air servis
3. Sistem RO-MMF eksisting menghasilkan air servis

B. Kriteria Dampak Lingkungan

1. Carcinogen / Penyebab kanker

Carcinogens mempengaruhi karena emisi zat karsinogenik ke udara, air dan tanah.

2. Respiration Organics / Penyerapan Organik

Efek penyerapan akibat asap musim panas yang disebabkan oleh emisi zat organik ke udara.

3. Respiration Inorganics/ Penyerapan Anorganik

Efek penyerapan akibat asap musim dingin yang disebabkan oleh emisi debu, sulfur dan nitrogen oksida ke udara.

4. Climate Change/ Perubahan iklim

Peningkatan penyakit dan kematian yang disebabkan oleh perubahan iklim. Disebabkan emisi gas rumah kaca ke udara.

5. Radiasi

Gangguan kesehatan manusia radiasi zat radioaktif.

6. Ozone Layer /Lapisan Ozone

Kerusakan dinyatakan disebabkan peningkatan radiasi UV karena penipisan lapisan ozon ke udara. Disebabkan gas CFC dan HFC yang banyak di udara.

7. Ecotoxicity

Kerusakan pada kualitas ekosistem, sebagai akibat dari zat berbahaya ke udara, air dan tanah yang berupa logam berat.

8. Acidifitation/Eutrophication

Pengasaman : Suatu dampak yang mempengaruhi lingkungan dalam skala regional Nitrogen oxides (NOx) dan sulfur (SO₂) yang dipancarkan dari

natural dan sumber *anthropogenic* menyebabkan oksidasi pada aktivitas manusia. Eutrofikasi (kelebihan nutrisi) : Nutrisi makanan seperti Nitrogen, Phospor dapat meningkat karena aktivitas manusia pada lingkungan aliran, sungai, danau, tanah basah yang luas.

9. Land Use

Penggunaan lahan akan berdampak pada keragaman spesies. Berdasar pada hasil observasi lapangan, skala yang dibangun menunjukkan keragaman spesies pada setiap tipe penggunaan lahan. Keragaman spesies tergantung pada tipe penggunaan lahan dan ukuran area. Kerusakan adalah dari konversi lahan dan pemakaian lahan.

10. Mineral

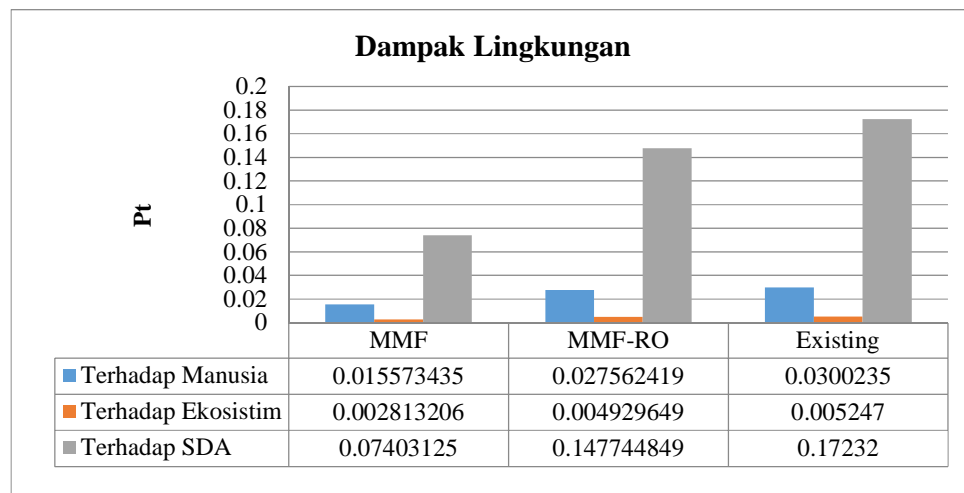
Kerusakan sumber daya yang akan digunakan generasi masa depan dengan daya yang lebih untuk mendapatkan sumber daya tersebut yang disebut surplus energy.

11. Fossil Fuel

Kerusakan sumber daya alam akibat penggunaan energy dari bahan bakar fosil (tidak terbarukan) seperti batu bara, gas alam dan minyak bumi.

Atribut Dampak Lingkungan pemilihan *Pengembangan Unit Daur Ulang Air Limbah Effluent WWTP* disederhanakan menjadi 3 besar sub criteria dampak lingkungan yaitu:

- Kerusakan pada kesehatan manusia (poin 1 – 6)
- Kerusakan kualitas ekosistem (poin 7 – 9)
- Kerusakan sumber daya alam (poin 10 – 11)



Pt : Standarisasi ukuran dampak

C. Kriteria Aspek Ekonomi

Terdiri dari 3 sub atribut dari atribut aspek lingkungan yaitu :

1. Periode Pengembalian Modal (*Payback Period*)

Periode pengembalian adalah waktu yang diperlukan (biasanya dalam ukuran tahun) untuk mengembalikan biaya anggaran modal proyek (*capital-budgeting*) untuk mengukur seberapa cepat suatu proyek mengembalikan investasi berhubungan dengan arus kas bebas (*free cash flows*), yang mengukur waktu manfaat daripada pendapatan akuntansi.

2. Nilai Bersih Saat Ini (*Net Present Value/NPV*)

Nilai bersih saat ini (NPV) dari proposal investasi adalah sama dengan nilai saat sekarang dari arus kas bebas (*free cash flow/FCF*) dikurangi pengeluaran awal investasi. Nilai Net present value/NPV dari suatu proyek akan mengukur nilai bersih dari suatu proposal investasi pada periode saat sekarang. Kriterianya apabila $NPV \geq 0.0$; diterima, $NPV < 0.0$; ditolak

3. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return/IRR*)

Tingkat pengembalian internal (IRR) adalah merupakan keputusan penganggaran modal yang menggambarkan tingkat pengembalian suatu proyek peroleh, secara matematis, itu adalah *discount rate* yang dapat menyamakan nilai sekarang dari arus masuk dengan nilai sekarang dari arus keluar.

Estimasi biaya dan biaya produksi alternative pengembangan

Keterangan	Multi Media Filter (MMF+ Tanki)	RO System (MMF+RO)	Existing Unit
Produksi	72.000 Ton	72.576 Ton	28.800 Ton
Biaya Operasi	Rp 487.988.995	Rp 939.166.900	Rp. 559.247.686
Biaya Pemeliharaan	Rp 293.700,000	Rp 247.500,000	Rp 130.000,000
Total Biaya	Rp. 781.688.995	Rp. 1.186.666.900	Rp. 689.247.686
Pendapatan per tahun	Rp 3,407,832,000	Rp 3,435,094,656	Rp 1,363,132,800
Payback Period	2 tahun	2 tahun	3 tahun
Net Present Value	Rp 998.362.694	Rp 890.260.929	Rp 252.697.255
IRR	28.3%	29.6%	15.1%

---Terimakasih Atas Kesediaannya untuk Mengisi Kuisisioner Ini---

**KUISOINER PERBANDINGAN BERPASANGAN
ANTAR ATRIBUT, SUB ATRIBUT,DAN ALTERNATIF**

1. Perbandingan antar atribut

No	Nama Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Dampak Lingkungan	DL																	AE	Aspek Ekonomi

2. Perbandingan antar Sub atribut pada atribut Dampak Lingkungan

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Kesehatan Manusia	KM																	KE	Kualitas Ekosistim
2	Kesehatan Manusia	KM																	SDA	Sumber Daya Alam
3	Kualitas Ekosistim	KL																	SDA	Sumber Daya Alam

3. Perbandingan antar Sub atribut pada atribut Aspek Ekonomi

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Payback Period	PP																	NPV	Net Present Value
2	Payback Period	PP																	IRR	Internal Rate of Return
3	Net Present Value	NPV																	IRR	Internal Rate of Return

4. Perbandingan antar Alternatif pada atribut

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

6. Perbandingan antar Alternatif pada atribut Dampak Lingkungan sub atribut Kesehatan Manusia

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

7. Perbandingan antar Alternatif pada Atribut Dampak Lingkungan sub atribut Kualitas Ekosistem

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

8. Perbandingan antar Alternatif pada Atribut Dampak Lingkungan sub atribut Sumber Daya Alam

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

9. Perbandingan antar Alternatif pada Atribut Aspek Ekonomi sub atribut Payback Period

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

10. Perbandingan antar Alternatif pada Atribut Aspek Ekonomi sub atribut Net Present Value

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

11. Perbandingan antar Alternatif pada Atribut Aspek Ekonomi sub atribut Internal Rate of Return

No	Nama Sub Atribut	Kode	Skala Penilaian																Kode	Nama Sub Atribut
			9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MMF – Air Domestik	MD																	RO	MMF-RO Air Servis
2	MMF- Air Domestik	MD																	RE	MMF-RO Existing
3	MMF-RO Air Servis	RO																	RE	MMF-RO Existing

Keterangan :

Penjelasan Skala Penilaian

Skala Penilaian	Keterangan	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Dua elemen yang mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap tujuan
3	Elemen yang satu lebih sedikit dari elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu elemen dibandingkan elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting dari elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya	Satu elemen yang kuat menyokong satu elemen dibandingkan elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya	Bukti yang mendukung yang satu terhadap elemen lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan	Nilai-nilai ini diberikan bila ada dua kompromi di antara dua pilihan

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Palembang 05 Mei 1977 dan merupakan anak ke-3 dari 4 bersaudara dan memiliki 2 orang putra. Ketertarikan dengan ilmu kimia mendorong penulis untuk melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Kimia FTK UGM tahun 1995 dan meraih gelar Sarjana Teknik tahun 2001.

Penulis bekerja di PT Indonesia Power mulai tahun 2002 dan memiliki pengalaman di bidang kimia, lingkungan dan bahan bakar sebelum akhirnya menjadi Ahli Tata Kelola Pembangkit (ATKP) di Unit Pembangkitan Perak Grati di tahun 2015.

Semangat untuk terus belajar dan memberi contoh kepada anak-anak dan lingkungan sekitar menjadi motivasi penulis untuk melanjutkan pendidikan S2 pada tahun 2014 di Jurusan Manajemen Industri di Program Studi Magister Manajemen Teknologi (MMT) ITS. Selama menjalani pendidikan di MMT ITS penulis pernah menjadi ketua MMT *Social Responsibility* (MSR) dan salah satu presenter dalam seminar internasional (SENTA 2016) yang diselenggarakan oleh FTK ITS.

Penulis mendapatkan gelar S2 di tahun 2017 dan memilih tesis dengan tema lingkungan terkait *life cycle assesment*. Penulis dapat dihubungi melalui email di mila.tartiarini@gmail.com.